

낙동납자루 (*Tanakia latimarginata*)의 초기생활사

박재민 · 전형배¹ · 조혜인 · 조성장² · 석호영¹ · 한경호^{3,*}

경상북도 토속어류산업화센터, ¹영남대학교 생명과학과, ²보령민물생태관, ³전남대학교 해양기술학부

Early Life History of *Tanakia latimarginata* by Jae-Min Park, Hyung-Bae Jeon¹, Hye-In Jo, Seong-Jang Cho², Ho-Young Suk¹ and Kyeong-Ho Han^{3,*} (Gyeongsangbuk-Do Native Fish Business Center, Uiseong 37366, Republic of Korea; ¹Department of Life Sciences, Yeungnam University, Gyeongsan 38541, Republic of Korea; ²Boryeong Freshwater Eco Center, Boryeong 33416, Republic of Korea; ³Marine Technology Undergraduate, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea)

ABSTRACT This study is to observe species identification and early life history of Korean endemic species of *Tanakia latimarginata* and to use it as a basis for taxonomic studies. As a result of morphological identification, a dark band appeared at the margin of the anal fin, and the ovipositor color of the female was light orange. The shape of the egg was fusiform and sticky. The egg size (long×short diameter) averaged 4.41×1.44 mm. The incubation time was 126 hours after the fertilization at an average water temperature of 21.0°C. Immediately after hatching, the larvae had egg yolk at an average total length of 5.91±0.18 mm (n=5). At 18 days after hatching, the trunk fur was developed in the caudal fin with an average total length of 8.02±0.08 mm (n=5). At 41 days after hatching, the larvae absorbed egg yolk at an average total length of 8.70±0.23 mm (n=5). At 80 days after hatching, the average length of the fins was 12.6±0.28 mm (n=5). The number of fin of the dorsal fin was iii.8, the anal fin iii.9~10, the caudal fin 19, lateral line scales 32~35 were similar to their brood stork.

Key words: Egg development, early life history, juvenile, larvae, *Tanakia latimarginata*

서 론

납자루아과 (Acheilognathinae) 어류는 잉어과 (Cyprinidae)에 속하는 소형 담수어류로서 세계적으로 70여 종이 분포하는 것으로 알려져 있다 (Arai, 1988; Banarescu, 1990; Chang *et al.*, 2014).

한국에서는 그동안 큰납지리속 (*Acanthorhodeus*), 납자루속 (*Acheilognathus*), 납줄개속 (*Rhodeus*) 등 3속 15종이 기록되어 왔으나 (Kim *et al.*, 2005; NIBR, 2011), 본 연구에서는 납자루아과 어류의 분류체계를 Chang *et al.* (2014)에 따라 *Tanakia*, *Achilognathus*, *Rhodeus*속으로 구분하였다.

한편, 납자루아과는 석패과 (Unionidae)에 속하는 담수

산 이매패류를 숙주로 이용하는 독특한 산란습성을 가지고 있어 난내 발생과 전기자어 시기를 조개 안에서 보냄으로써 높은 생존율을 유지하도록 진화하였지만 최근 하천 정비공사와 수질오염 등의 영향으로 민물조개가 감소하여 오히려 산란숙주에 의존하는 납자루아과 어류의 생존전략이 불리하게 작용하고 있다 (Baek and Song, 2005a; Kim *et al.*, 2011). 또한 한강납줄개 (*Rhodeus pseudosericeus*), 임실납자루 (*Tanakia somjinensis*), 묵납자루 (*T. signifer*) 및 큰줄납자루 (*Acheilognathus majusculus*) 등은 개체수가 점차 감소하여 멸종위기종 2급으로 법적 보호를 받고 있는 실정이며, 자원의 보호와 종 보존을 위해서는 인위적인 증식연구의 필요성이 절실한 상황이다 (NIBR, 2018).

현재까지 연구된 납자루아과 어류의 초기생활사 연구는 줄납자루 (*A. yamatsutae*)의 난 발생 자어발육 및 자어의 표피상 돌기 (Suzuki and Jeon, 1987), 납자루 (*T. lanceolata*)의 개체발

*Corresponding author: Kyeong-Ho Han Tel: 82-61-659-7163,
Fax: 82-61-659-7169, E-mail: aqua05@jnu.ac.kr

생(Suzuki and Jeon, 1990), 실험실에서 사육한 각시붕어(*R. uyekii*)의 초기생활사(Kim and Han, 1990a), 흰줄납줄개(*R. ocellatus*)의 난발생과 부화자어(Kim and Park, 1985), 칼납자루(*T. koreensis*) 재생산 기초 연구(Kim *et al.*, 2011), 묵납자루의 난 형태와 초기생활사(Baek and Song, 2005b), 큰줄납자루(Kim *et al.*, 2014a) 등 성장 시기에 나타나는 형태적 변화에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다.

납자루아과 어류의 종 보존을 위한 초기생활사 연구가 진행되고 있는 가운데 2014년 경북 영천에 위치한 금호강과 경남 산청 양천강에서 칼납자루와 형태적으로 유사하나 유전적, 내·외부 형태적으로 차이를 나타낸 종이 새롭게 확인되었다. 이 종은 Kim *et al.* (2014b)에 의해 *Tanakia*속에 속하는 낙동납자루(*Tanakia latimarginata*)로 명명되었고, 형태적 특징은 뒷지느러미 가장자리 검은색 띠가 칼납자루보다 짙고, 암컷의 산란관 색은 칼납자루가 연회색, 낙동납자루가 옅은 주황색을 띠어 차이를 나타낸다고 알려져 있다(Kim *et al.*, 2014b). 한편, 처음 신종으로 보고 될 당시 낙동강 수계에는 낙동납자루만이 분포한다고 알려져 왔으나(Kim *et al.*, 2014b), 최근에 낙동강 수계의 일부 지류에서 칼납자루가 분포하는 것이 보고되었다(Jeon *et al.*, 2017). 낙동강 집단의 칼납자루는 형태적으로 잘 구분되나, 만약 이들이 잡종을 형성하고 그 잡종개체가 한쪽 부모의 표현형에 편향이 나타날 경우 형태적 분석만으로 동정하는 것은 어려울 수 있다. 또한 이들의 자연 상태 교잡에 대한 유전적 분석은 이루어지지 않았으므로 분자적 데이터에 근거한 종 동정이 요구되는 실정이다.

현재까지 유사종과의 초기생활사 비교 연구는 이루어지지 않았기 때문에 이 연구에서는 신종으로 보고된 낙동납자루의 초기생활사 관찰을 통해 유사종 사이에 초기생활사 수준의 차이를 규명하고, 낙동강에서 유래한 개체의 분자적 동정을 실시하여 종의 위치를 규명하였다. 이는 종 보존을 위한 인공증식 및 분류학적 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

재료 및 방법

1. 분자 동정 및 계통분석

납자루속(*Tanakia*)의 DNA 바코딩에서 이용된 COI과 cytochrome b 유전자를 이용하여 역치값(threshold-based) 및 클러스터링 기반(clustering-based)의 종 동정과 계통분석을 각각 실시하였다. 총 4개체로부터 genomic DNA의 추출과 PCR 증폭 및 시퀀싱을 실시하였으며, 실험과정은 Jeon *et al.* (2017)의 방법을 따랐다. cytochrome b 유전자의 시퀀싱 결과 얻어진 염기서열을 통해 클러스터링 기반의 종 동정을 실시하였으며, 이를 위해 geneious(Kearse *et al.*, 2012)를 이용

하여 Neighbour-joining (NJ) 계통수를 작성하였다. 미토콘드리아 cytochrome b 유전자를 이용한 선행연구에서 유전적 거리에 근거한 역치 기반(threshold-based) 기법의 한계가 보고 되었으므로, 본 연구에서는 cytochrome b 유전자를 통해 클러스터링 기반의 분석결과를 종 동정에 이용하였다. 클러스터링 기반의 분석을 위해서 기존에 납자루속에서 보고된 하플로타입이 이용되었으며(Jeon *et al.*, 2017), 아웃그룹으로 총 4종의 납줄개속(*Rhodeus pseudosericeus*, KF425517; *R. sericeus*, KM052222; *R. shिताiensis*, KF176560; *R. sinensis*, KF533721) 종이 이용되었다. 계통분석을 위한 염기치환모델로는 Tamura-Nei의 모델이 이용되었다. 총 1,000회의 bootstrap 반복을 실시하였으며, 90% 이상의 신뢰도를 갖는 노드만으로 통합 계통수(consensus tree)를 작성하여 제시하였다. COI 유전자를 이용해 BLAST를 통해 기존에 NCBI GenBank에 보고된 데이터베이스와 유사도 검사를 실시하였다.

2. 친어사육

연구에 사용된 친어는 경북 문경시에 위치한 영강 지류하천에서 족대를 이용하여 포획하였고, 산소비닐포장 후 연구실로 운반하여 분류를 위해 형태적 특징을 관찰하였다. 수컷의 크기는 전장 4.60~8.50 cm (평균 7.08 ± 1.05 cm, $n=10$), 암컷 전장 3.70~8.30 cm (평균 6.02 ± 1.51 cm, $n=14$)였고, 유리 사각수조(50×45×35 cm)에서 스펀필터를 이용하여 순환여과식으로 사육하였으며, 먹이는 1일 2회씩 배합사료(Tetra Bits, Germany)를 공급하였다. 수질관리는 1주일에 1회씩 사육수의 50% 가량을 환수시켜 주었고, 수온은 19.0~23.0°C (평균 21.0 ± 2.0 °C)를 유지시켜 주었다.

3. 인공채란

인공채란을 실시하고자 수조에 석패과(Unionidae)에 속하는 말조개(*Unio douglasiae*) 각장 4.40~5.50 cm (평균 4.77 ± 0.46) 4마리를 모래가 채워진 사각용기에 수용하여 산란유도를 실시하였다. 수컷은 입 주변에 추성이 형성되고, 혼인색이 뚜렷하며 정액이 육안으로 관찰되는 것을 선별하였고, 암컷은 산란관이 뒷지느러미 중반부까지 신장한 개체로부터 복부를 압박 후 채란하였다. 수정은 멸균 처리된 생리식염수(0.9% NaCl)가 담긴 페트리디쉬(Ø 15 cm)에 채란하여 미리 채정된 수컷의 정액을 혼합하여 습식법으로 인공수정하였다.

4. 난 발생 및 자치어 형태발달

수정란은 10개를 임의로 선택하여 만능투영기(Nikon JP V-12B, Japan)를 이용, 난의 크기를 0.01 mm까지 측정하였고, 난 발생은 실체현미경(Nikon SMZ18, Japan)으로 형태 및 발

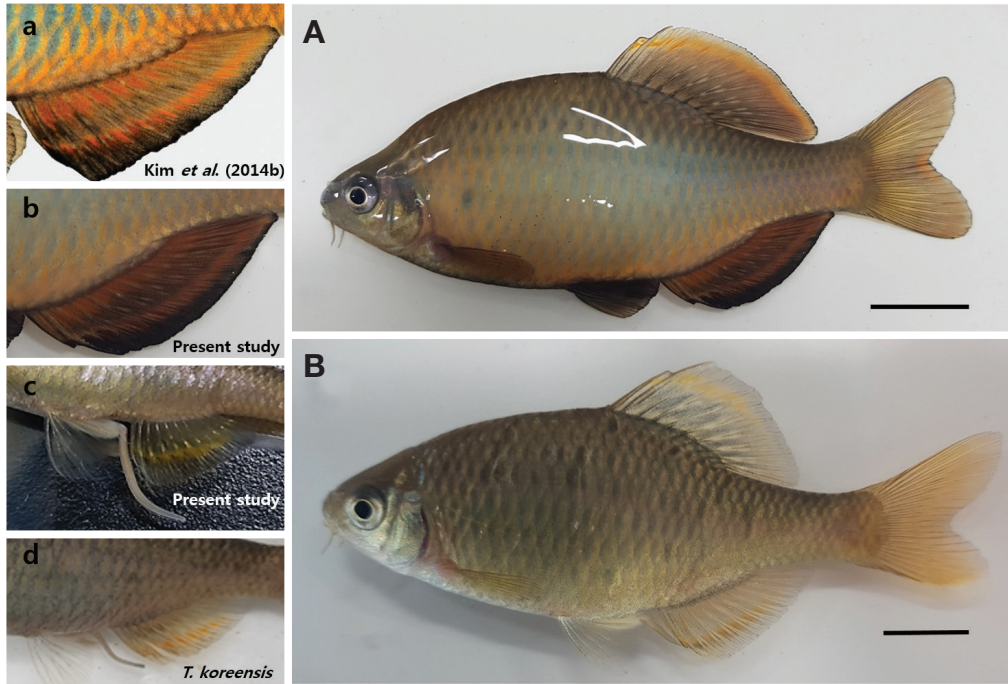


Fig. 1. Morphological characters that distinguish *Tanakia latimarginata* (A-B; a-c) and *T. koreensis* (d). A: Male; B: Female; a: Male (Kim *et al.* 2014); b: Male (Present study); c: Female (Present study); d: Female from Somjin River. Scale bars = 1.0 cm.

생과정을 관찰 및 사진촬영 하였다. 사육수온은 실내 냉난방 조절 시스템을 이용하여 어미사육과 동일한 조건을 유지해주었고, 수질관리를 위해 3일에 1회씩 90% 환수시켜 주었다. 자치어 사육은 부화 직후부터 난황흡수가 완료되기까지 페트리 디쉬(Ø 15 cm)에서 지속적으로 사육하였고, 수직이동과 유영이 관찰되는 시기부터 수조로 이동 후 사육하였다.

먹이는 *Artemia* sp. nauplius 유생을 mL당 2~3개체가 되도록 1일 1회 공급하였고, 수온은 수정란 사육과 동일한 조건을 유지해주었다. 자치어 형태발달 관찰은 1~5일마다 5마리를 무작위로 선택하여 MS-222 (Ethyl 3-aminobenzoate methanesulfonate, Sigma Aldrich Co., St. Louis, USA)를 이용, 마취 후 만능투영기로 크기를 0.01 mm까지 측정하였고, 실제 현미경으로 형태변화 관찰 및 사진촬영을 하였다.

결 과

1. 형태적 특징

형태적 특징을 관찰한 결과 뒷지느러미 가장자리 검은색 띠가 짙게 나타났고, 암컷의 산란관 색은 옅은 주황색을 띠었다(Fig. 1). 각 부위별 지느러미 기조 수는 등지느러미 iii.8개, 뒷지느러미 iii. 9~10개, 꼬리지느러미 19개, 측선비늘 수 32~35개로 나타나 Kim *et al.* (2014b)의 결과와 일치하였으며, 친어들은 모두 낙동남자루로 동정되었다. 치어 4개체에서

는 cytochrome b 유전자의 2개 하플로타입이 확인되었으며, 이를 이용한 NJ 계통수 상에서 2개 하플로타입 모두 선행연구에서 보고된 낙동남자루의 하플로타입들과 높은 신뢰도(99% bootstrap value)로 단계통을 형성하였다(Fig. 2). 또한 COI 유전자에서도 총 2개의 하플로타입이 치어 4개체로부터 분리되었다. 이 2개의 하플로타입을 이용해 BLAST를 실시한 결과, 치어로부터 분리된 하플로타입들이 기존에 GenBank에 등록된 낙동남자루의 하플로타입 (TLT-h05, h06)과 100%의 일치되는 것을 확인하였다.

2. 난의 형태 및 산란

난의 형태는 방추형으로 난황을 둘러싸고 있는 난막은 투명하였고, 난황은 불투명하였으며, 물에 가라앉는 성질의 침성란으로 점착성이 있었다. 난의 크기는 장경 4.29~4.51 (평균 4.41±0.06, n=10) mm, 단경 1.37~1.50 (평균 1.44±0.04, n=10) mm였다. 암컷의 포란수는 개체에 따라 차이가 있었으며, 1마리에서 채란한 난의 개수는 23~51개 (평균 30±7.50개)였다. 전장에 대한 산란관 길이의 비는 20.7~50.0% (평균 27.9%)이었다(Table 1).

3. 난 발생 과정

수정 직후의 수정란은 수분을 완전히 흡수하지 않은 상태였고(Fig. 3A), 수정 후 1시간이 경과하면서 난황과 난막이 분

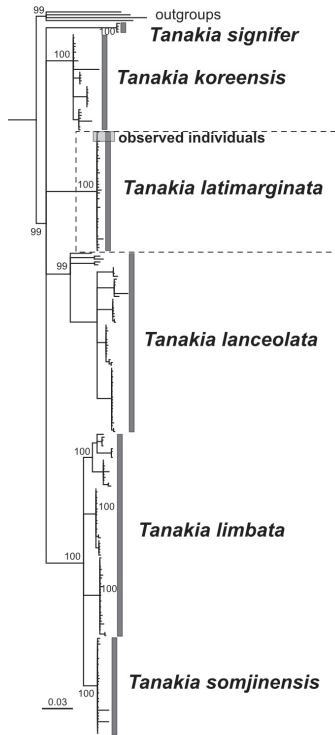


Fig. 2. Neighbour-joining phylogenetic tree using the haplotypes of cytochrome b. The values on each nodes represent 1,000th bootstrap supports. The box with grey shaded and dashed line indicate observed four individuals and species boundary of the *T. latimarginata*, respectively.

리되는 것이 확인되었으며, 수정 후 1시간 30분에는 동물극의 난황 상단부에 원형질이 분리되었다(Fig. 3B). 수정 후 2시간부터는 난황에 배반이 형성되기 시작하였고, 수정 후 2시간 30분에는 난황의 1/5 정도를 차지하는 배반이 형성되었다(Fig. 3C). 수정 후 3시간에는 중앙부가 두 갈래로 갈라지면서 2개의 할구가 형성되어 2세포기에 달하였다(Fig. 3D). 수정 후 4시간에는 2개의 할구가 같은 크기로 이분되면서 4세포기에 달하였고(Fig. 3E), 수정 후 5시간에는 같은 방식으로 8세포기에 달하였으며(Fig. 3F), 수정 후 6시간에는 16세포기에 달하였다(Fig. 3G). 수정 후 8시간 30분에는 32세포기에 달하였고(Fig. 3H), 수정 후 10시간에는 64세포기에 달하였으며(Fig. 3I), 수정 후 17시간 30분에는 세포의 분열 수가 다수 증가하면서 할구의 크기는 점차 작아져 상실기에 달하였다(Fig. 3J). 수정 후 33시간에는 할구의 표면이 곡선에 가까워지면서 포배기에 달하였고(Fig. 3K), 수정 후 41시간 30분에는 난황의 위쪽에서부터 1/3 정도를 덮어 내려와 초기 낭배를 형성하였으며(Fig. 3L), 수정 후 51시간에는 난황의 2/3 이상을 덮어 내려와 말기 낭배기에 접어들었다(Fig. 3M). 수정 후 66시간에는 배환이 식물극 쪽을 완전히 함입하면서 난황의 외부 표면 중앙에는 배체가 형성되었고, 수정 후 72시간에는 근절이 관찰되었다

Table 1. Number of spawned eggs and ovipositor length of *Tanakia latimarginata* female in this study

Total length (cm)	Number of spawned eggs	Ovipositor length (cm)	Percentage (%) of ovipositor length/total length
7.8	28	2.0	25.6
6.0	26	3.0	50.0
7.2	26	2.3	31.9
8.3	23	2.2	26.5
7.8	37	1.7	21.7
7.7	25	1.6	20.7
6.8	25	1.8	26.4
5.9	26	2.0	33.8
4.2	28	1.2	28.5
5.3	36	2.0	37.7
5.2	26	1.3	25.0
5.3	27	1.2	22.6
5.4	29	1.2	22.2
3.8	51	1.0	26.3
3.7	39	1.0	27.0

(Fig. 3N). 수정 후 90시간에는 꼬리 부분의 막이 난황과 분리되었고, 머리가 발달하였으며(Fig. 3O), 수정 후 122시간에는 배체의 머리 부분이 난막을 뚫고 나오면서 부화가 시작되었다(Fig. 3P). 수정 후 124시간에는 전체 수정란의 50%가 부화되었으며, 수정 후 126시간에는 모든 수정란의 부화가 완료되었다.

4. 자치어 형태발달

부화 직후 전기자어는 전장 5.66~6.17 mm (평균 5.91±0.18 mm, n=5)로 난황을 가지고 있었고, 입은 발달하지 않았으며, 향문은 뚜렷하게 형성되지 않았다. 꼬리부분은 막으로 된 지느러미로 이루어져 있었고, 머리 부분에 눈소포가 발달하기 시작하였다. 머리와 몸통의 외부는 작은 표피상 돌기가 있었고, 자어의 움직임은 관찰되지 않았다(Fig. 4A).

부화 후 1일째 전기자어는 전장 5.86~6.14 mm (평균 6.00±0.11 mm, n=5)로 향문이 열리고 일직선 모양의 소화관이 발달하기 시작하였으며, 막으로 된 지느러미는 분화하여 면적이 넓어졌다. 자어의 움직임이 관찰되었고, 외부 충격이나 진동에 반응하였다(Fig. 4B).

부화 후 4일째 전기자어는 전장 5.97~6.54 mm (평균 6.14±0.23 mm, n=5)로 난황의 크기가 점차 줄어들었고, 입은 발달하지 않았으며, 머리 부분이 발달하였다. 막으로 된 꼬리지느러미의 면적은 줄어들었고, 빛의 밝기에 따라 자어의 움직임이 빠르게 반응하였다(Fig. 4C).

부화 후 7일째 전기자어는 전장 6.24~7.05 mm (평균 6.72±0.30 mm, n=5)로 눈에는 색소포가 점차 침착하기 시작하였고, 움직임은 더욱 활발해졌으며, 등과 배 쪽에 형성되었던 표피상 돌기가 소실되기 시작하였다. 막으로 된 꼬리지느러미는

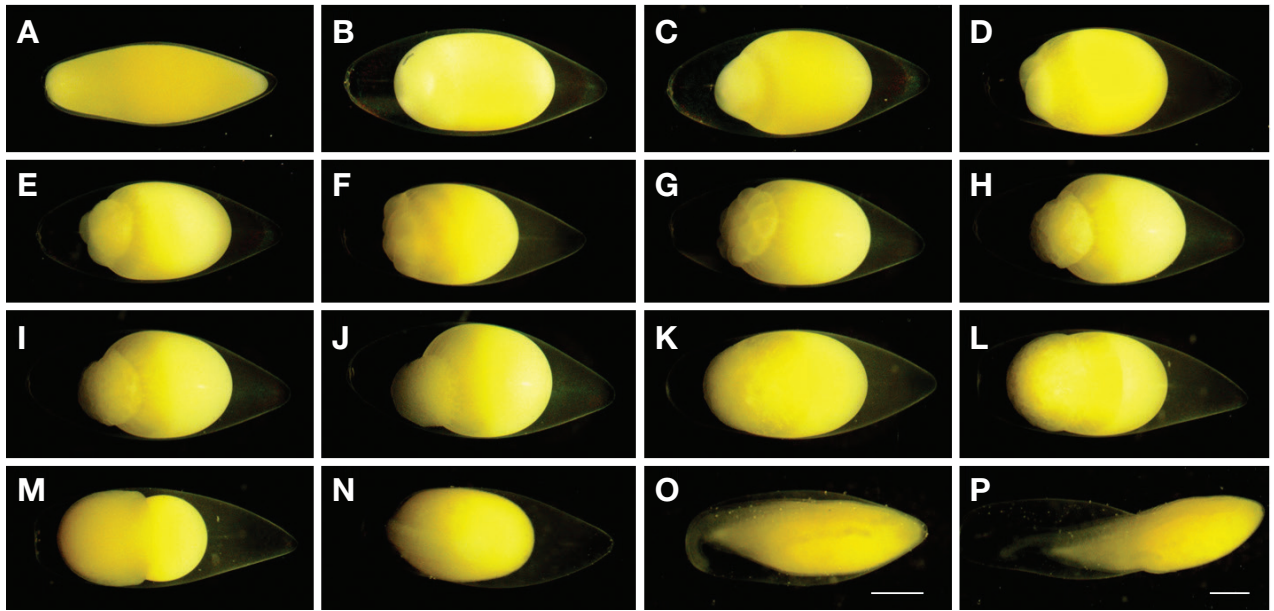


Fig. 3. Eggs development of *Tanakia latimarginata*. A: Fertilized eggs immediately; B: Egg yolk separation; C: Blastodisc; D: 2cells; E: 4cells; F: 8cells; G: 16cells; H: 32cells; I: 64cells; J: Morula stage; K: Blastula stage; L: Early gastrula stage 1/3; M: Late gastrula stage 2/3; N: Embryonic stage; O: Development of tail; P: Newly hatched larvae. Scale bars = 1.0 mm.

항문까지 이어져 면적이 점차 넓어지는 것을 관찰하였다(Fig. 4D).

부화 후 18일째 중기자어는 전장 7.96~8.17 mm (평균 8.02 ± 0.08 mm, n = 5)로 눈에는 색소포가 진하게 침착하였고, 눈동자가 발달하였으며, 심장을 따라 난황과 미병부에 혈액이 흐르는 것을 관찰하였다. 꼬리지느러미 척색말단은 45°로 휘어지기 시작하였고, 미부봉상골 아래쪽으로 여러개의 기조가 형성되었다. 머리 뒷부분에는 가슴지느러미를 지지하는 뾰족한 돌기 한 쌍이 발달하였다(Fig. 4E).

부화 후 28일째 중기자어는 전장 8.39~9.29 mm (평균 8.67 ± 0.36 mm, n = 5)로 눈에는 수정체가 뚜렷하게 관찰되었고, 입이 발달하기 시작하였으며, 두부의 상단부분과 등 쪽, 난황의 윗부분, 몸의 정중앙으로 별모양의 흑색소포가 침착되었다. 등과 배지느러미는 분화하기 시작하였고, 기조가 형성되기 시작하였다(Fig. 4F).

부화 후 34일째 중기자어는 전장 8.47~9.45 mm (평균 8.89 ± 0.39 mm, n = 5)로 두부 상단부분과 난황 위쪽에 침착된 흑색소포는 더욱 진하게 착색하였고, 면적이 넓어지면서 나뭇가지 모양으로 발달하였다. 입은 열렸으나 난황은 완전히 흡수되지 않았고, 아가미가 발달하면서 개폐운동이 관찰되었다. 등지느러미를 제외하고는 막으로 연결되어 있었으며, 등지느러미에는 5개, 뒷지느러미에는 6개의 기조가 형성되었다. 미병부에 침착되었던 흑색소포는 점차 넓어져 등 쪽 전체에 부분적으로 침착하였다(Fig. 5A).

부화 후 41일째 후기자어는 전장 8.49~9.03 mm (평균 8.70 ± 0.23 mm, n = 5)로 난황을 대부분 흡수하였고, 유영은 수면 위쪽으로 올라왔다 다시 내려오기를 반복하는 것이 관찰되었다. 바닥에 누워있는 상태에서 먹이를 공급하였을 때 몸을 바로 세워 섭이가 이루어지는 것을 관찰하였고, 복부 상단에는 타원형의 부레가 1개 발달하였다. 각 부위별 지느러미 기조 수는 등지느러미 6개, 뒷지느러미 8개로 증가하였고, 꼬리지느러미는 19개로 증가하였다(Fig. 5B).

부화 후 51일째 후기자어는 전장 9.12~9.20 mm (평균 9.16 ± 0.03 mm, n = 5)로 막으로 연결되어 있던 뒷지느러미와 꼬리지느러미가 분리되기 시작하였고, 등과 뒷지느러미에는 흑색소포가 침착하였다. 꼬리지느러미에는 흑색소포가 2개의 띠를 이루어 침착하였고, 복부에는 막지느러미가 따로 분리되어 분화하기 시작하였다. 유영은 중층에서 정상적인 움직임이 관찰되었고, 먹이섭취가 활발해졌다(Fig. 5C).

부화 후 64일째 후기자어는 전장 9.69~9.80 mm (평균 9.73 ± 0.04 mm, n = 5)로 부레는 2개로 연결된 형태로 발달하였고, 각 부위별 지느러미 기조 수는 등지느러미 iii.8개, 뒷지느러미 iii.9개로 증가하였고, 배지느러미는 막으로 되어 있었다(Fig. 5D).

부화 후 80일째 치어는 전장 12.3~13.0 mm (평균 12.6 ± 0.28 mm, n = 5)로 이 시기에는 배지느러미의 막이 사라졌고, 뒷지느러미의 기조 수가 iii.9~10개로 증가하면서 모든 지느러미의 기조 수가 정수에 달하였다(Fig. 5E).

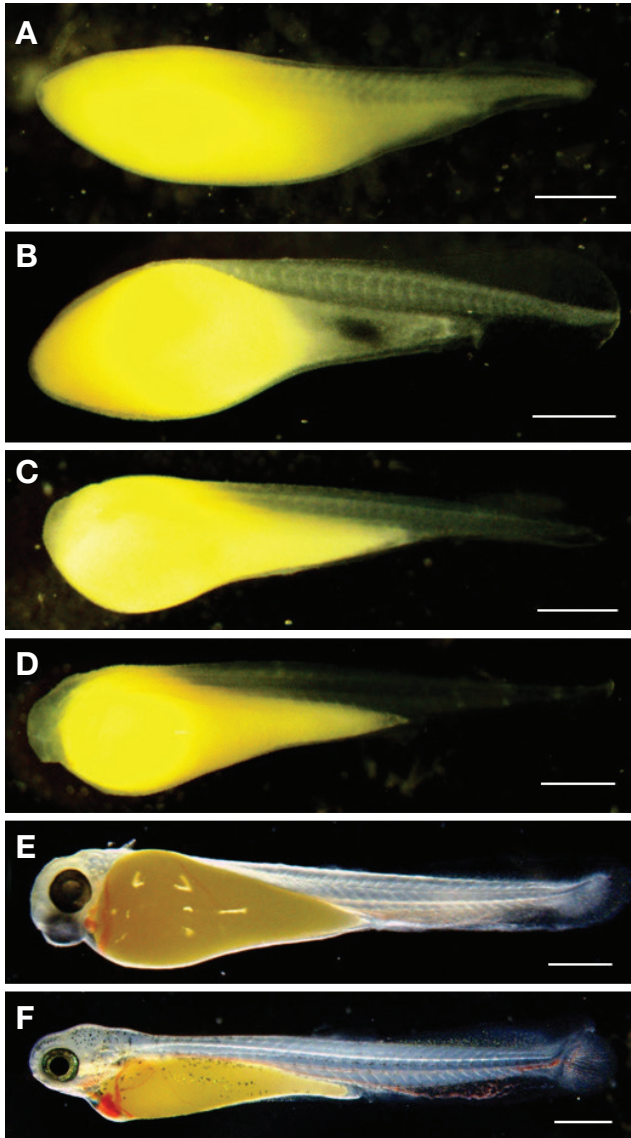


Fig. 4. Morphological change of *Tanakia latimarginata* from hatching to preflexion and flexion larvae stage. A: Newly hatched larvae, 5.91 mm in total length (TL); B: 1 days after hatching (DAH) preflexion larvae, 6.00 mm in TL; C: 4 DAH preflexion larvae, 6.14 mm in TL; D: 7 DAH preflexion larvae, 6.72 mm in TL; E: 18 DAH flexion larvae, 8.02 mm in TL; F: 28 DAH flexion larvae, 8.67 mm in TL. Scale bars = 1.0 mm.

부화 후 101일째 치어는 전장 14.7~15.5 mm (평균 15.1 ± 0.29 mm, n=5)로 몸 전체에는 비늘이 형성되었고, 등과 배, 뒷지느러미 가장자리에 검은색 띠가 형성되었다. 특히 뒷지느러미 가장자리의 검은색 띠는 성어보다 넓고 확연하게 나타나 주목되었다. 각 부위별 지느러미 기조 수는 등지느러미 iii.8 개, 뒷지느러미 iii.9~10개, 꼬리지느러미 19개, 측선비늘 수 32~35개였고, 몸 전체에 침착되었던 흑색소포는 사라졌으며, 체색과 형태가 어미와 유사하였다(Fig. 5F).

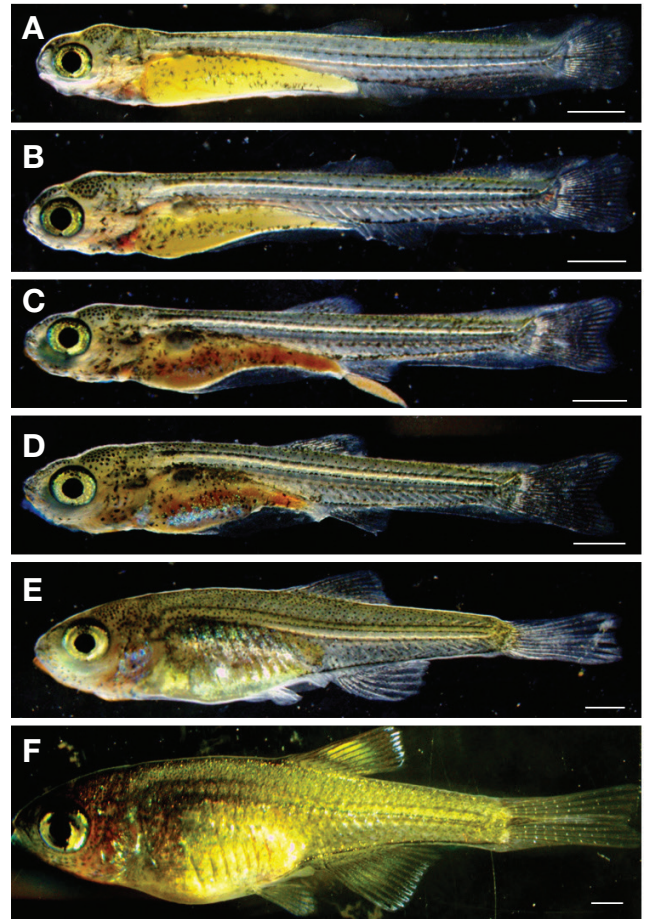


Fig. 5. Morphological change of *Tanakia latimarginata* from hatching to flexion and postflexion larvae and juvenile stage. A: 34 DAH flexion larvae, 8.89 mm in TL; B: 41 DAH postflexion larvae, 8.70 mm in TL; C: 51 DAH postflexion larvae, 9.16 mm in TL; D: 64 DAH postflexion larvae, 9.73 mm in TL; E: 80 DAH juvenile, 12.6 mm in TL; F: 101 DAH juvenile, 15.1 mm in TL. Scale bars = 1.0 mm.

5. 자치어의 성장

낙동남자루의 부화 직후부터 부화 후 101일째까지 성장 발육단계별 전장 변화는 Fig. 6과 같았다.

고 찰

어류의 초기생활사에 대한 연구는 난의 형태적, 생태적 특징과 더불어 배 발생 및 초기 성장과정을 거치면서 나타나는 종의 고유형질, 발달특성 등 어종에 대한 많은 정보를 담고 있기 때문에 분류학적, 발생학적 및 생태학적으로 유사종 사이의 근연관계를 연구하는 기초자료가 된다. 또한 이를 토대로 어족자원의 보호와 종자생산을 통한 증식 등 다각도로 활용할

Table 2. Comparison of egg and larvae size in Acheilognathinae fishes by each investigator

Species	Habitat	Egg type	Egg size (mm) (mean, long × short)	Newly hatched larvae size (mm)	Authors
<i>Tanakia latimarginata</i>	Yeong R. (Mungyeong)	Fusiform	4.41 × 1.44	5.91	Present study
<i>Rhodeus uyekii</i>	Nakdong R. (Gimhae, sangdong)	Bulb like	3.35 × 1.65	4.30	Kim and Han (1990)
<i>R. ocellatus</i>	Nakdong R. (Gimhae, sangdong)	"	2.66 × 1.51	2.68	Kim and Park (1985)
<i>R. notatus</i> (<i>R. suigensis</i>)	Anseong C. Balan C.	"	3.58 × 1.17 3.56 × 1.39	4.31 4.03	Suzuki and Jeon (1988a)
<i>R. pseudosericeus</i>	Namhan R. (Hoengseong, Gonggeun)	"	2.80 × 1.80	3.30	Kim <i>et al.</i> (2006)
<i>Tanakia lanceolatus</i>	Ungcheon C.	Fusiform (spindly)	4.58 × 1.49	5.30~5.51	Suzuki and Jeon (1990a)
<i>T. signifer</i>	Naecheon C.	Pear	2.19 × 1.85	3.32~3.41	Baek and Song (2005a)
	Namhan R.	"	2.26 × 1.74	3.65	Suzuki and Jeon (1988b)
	Imjin R.	"	2.27 × 1.82	3.25	
<i>T. somjinensis</i>	Sumjin R. (Imsil, Sinpyeong and Gwanchon)	"	3.70 × 2.30	5.20	Kim (1991)
<i>T. koreensis</i>	–	Fusiform (spindly)	4.35 × 1.76	–	Kim <i>et al.</i> (2011)
	Sumjin R.	"	4.66 × 1.49	5.54	Suzuki and Jeon (1988c)
	Geum R.	"	3.19 × 1.34	6.38	
<i>Acheilognathus yamatsutae</i>	Bukhan R.	Ovoid	1.91 × 1.57	3.79~3.82	Suzuki and Jeon (1987)
<i>A. gracilis</i>	Juksan C.	"	2.09 × 1.26	3.31	Suzuki and Jeon (1990b)
<i>A. majusculus</i>	Yeong R.	"	2.12 × 1.86	4.23	Kim <i>et al.</i> (2014a)
<i>A. macropterus</i>	Yeongam C.	"	1.95 × 1.61	3.04	Suzuki and Jeon (1989)

C.: cheon; R.: river

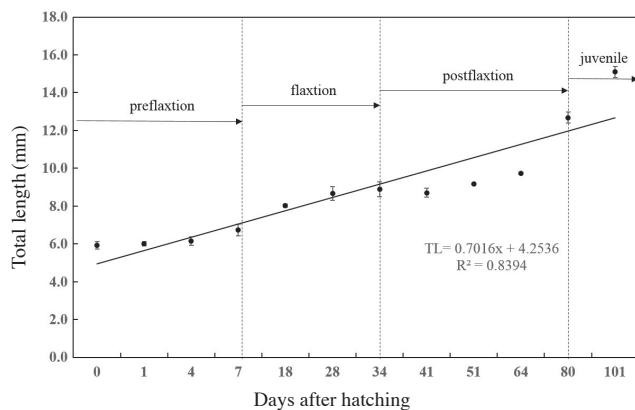


Fig. 6. Growth of larvae and juveniles after hatching in day of *Tanakia latimarginata*. Circles and bars represent the mean and SD.

수 있다 (Song and Choi, 2000; Kim *et al.*, 2014a).

낙동납자루는 육안으로 관찰하였을 때 칼납자루보다 뒷지느러미의 가장자리 검은색 띠가 넓게 나타난다는 점에서 차이를 보인다. 또한 암컷의 산란관은 낙동납자루가 열린 주황색, 칼납자루가 연한 회색으로 차이를 나타내는 것으로 알려져 있

다 (Kim *et al.*, 2014b). 이 연구에서는 낙동납자루의 형태적 동정에 이용될 수 있는 뒷지느러미 가장자리의 검은색 띠가 부화 후 101일 경과 후 육안으로 식별될 수준까지 발현되는 것을 확인하였다. 이는 낙동납자루의 형태적 동정이 성어에서 뿐만 아니라 치어 단계에서도 가능하다는 것을 제시했다는 점에서 그 의미가 있었다.

인공채란 시 산란관 길이의 비는 낙동납자루가 20.7~50.0%, 각시붕어 (Kim and Han, 1990) 105~165%, 흰줄납줄개 (Kim and Park, 1985) 100~150%, 한강납줄개 (Kim *et al.*, 2006) 38.4~45.2%, 큰납지리 (Kim *et al.*, 2012) 84.0~89.9%, 큰줄납자루 (Kim *et al.*, 2014a)가 50.6~53.5%로 차이를 보였으며, 이러한 차이점은 자연 상태에서 산란숙주인 조개의 선택성에 따른 생식전략과 관련된 종의 특성으로 보고 있다 (Baek and Song, 2005a).

납자루아과 어류의 난 형태는 납줄개속의 전구형 (bulb type), 납자루속의 서양배형 (pear shape), 방추형 (fusiform), 타원형 (ovoid type)으로 구분되고, 그 크기와 미세 형태의 차이는 각 종마다 차이가 있어 분류와 분화계통 형질로 이용되며 (Kim *et al.*, 2011), 낙동납자루의 난 형태는 방추형으로 납자

루속과 유사하였다.

난의 크기와 형태를 다른 납자루아과 어류와 비교한 결과 Table 2와 같았다. 부화에 소요되는 시간은 낙동납자루가 수온 21.0°C일 때 수정 후 124시간이 소요되었고, 유사종인 칼납자루(Kim *et al.*, 2011)는 수온 21.0°C일 때 수정 후 49시간이 소요되어 낙동납자루와 차이를 보여 동일한 수온임에도 부화시간에 차이가 있는 것이 확인되었다.

납자루아과의 근연종인 큰줄납자루(Kim *et al.*, 2014a)는 수온 18.0°C일 때 43시간, 줄납자루(Suzuki and Jeon, 1987) 수온 22.0°C일 때 39시간, 묵납자루(Baek and Song, 2005a)는 수온 20.0°C일 때 49시간이 소요되어 부화시간은 수온이 높을수록 짧아지는 경향을 보인다고 주로 알려져 있으나 이와 다른 결과를 보이는 것은 종에 따라 난황의 크기 차이에 기인한 것으로 판단된다.

납자루아과 어류의 부화자어 형태는 익상돌기의 유무에 따라서 구분되고, 주로 납줄개속 어류는 익상돌기의 형태를 나타내며, 납줄개속과 납자루속 어류는 표피상돌기 형태를 가져 종에 따라 독특한 형태를 나타낸다(Kim *et al.*, 2011). 낙동납자루의 부화자어는 표피상돌기가 발달하고, 난황흡수가 모두 완료된 이후 조개에서 나오는 시기로 추정되는 부화 후 34일경 완전히 소멸되었다. 유사종인 칼납자루(Kim *et al.*, 2011)는 부화 후 8일째부터 소멸되어 대부분의 납자루아과 어류는 난황 흡수 이후 조개에서 돌기가 소멸되는 것으로 보여지며, 외부로 나오는 즉시 정상적인 유영과 먹이활동을 할 수 있는 것으로 보아 납자루아과 어류들의 특별한 생존전략으로 보인다.

낙동납자루의 부화자어 크기는 평균전장 5.91 ± 0.18 mm였고, 다른 납자루아과 어류와 비교해 보면 칼납자루(Suzuki and Jeon, 1988c) 섬진강 개체 평균전장 5.54 mm, 금강 개체 평균전장 6.38 mm, 납자루(Suzuki and Jeon, 1990a) 전장 5.30~5.51 mm, 임실납자루(Kim, 1991) 평균전장 5.20 mm, 큰줄납자루(Kim *et al.*, 2014a)는 평균전장 4.23 mm, 줄납자루(Suzuki and Jeon, 1987) 전장 3.79~3.82 mm, 묵납자루(Baek and Song, 2005a) 전장 3.32~3.41 mm, 가시납지리(Suzuki and Jeon, 1990b), 큰납지리(Suzuki and Jeon, 1989) 평균전장 3.04 mm로 낙동납자루는 칼납자루 금강 수계 집단을 제외하고 근연종 가운데 전장이 가장 큰 것으로 나타났다(Table 2).

후기자어로 이행하는 시기는 낙동납자루의 경우 부화 후 41일째 평균전장 8.70 ± 0.23 mm였고, 다른 납자루아과 어류와 비교해 보면 큰줄납자루(Kim *et al.*, 2014a)는 부화 후 20일째 평균전장 10.12 mm, 납자루(Suzuki and Jeon, 1990a) 부화 후 11일째 평균전장 9.70 mm, 줄납자루(Suzuki and Jeon, 1987) 부화 후 18일째 평균전장 7.39 mm, 묵납자루(Baek and Song, 2005) 부화 후 12일째 평균전장 8.81 mm로 시기적으로는 납자루가 가장 빨랐고, 전장의 크기는 줄납자루가 납자루아과에서 가장 빨리 후기자어로 이행하는 것으로 나타났다.

연구결과를 종합해보면 형태적으로 가장 유사한 칼납자루와 비교하였을 때 난 및 부화자어 크기, 부화시간 등 차이를 보여 종간의 초기생활사 과정에서 확인된 특징을 유사종간 비교할 수 있는 중요한 연구 자료가 될 것으로 보인다. 또한 근연종인 묵납자루와 임실납자루보다 수정란 장경 및 부화자어 크기가 보다 크게 나타나 분류학적 연구의 기초자료를 확립할 수 있게 되었다.

최근 하천의 개발과 물리 화학적 오염원의 증가는 소형 납자루아과 어류의 생존에 대한 위협을 빠르게 확산시키고 있으며, 특히 낙동납자루는 낙동강 수계와 수영강 수계의 철마천에서만 출현하는 고유종으로 점차 집단의 규모가 감소되는 추세에 있을 뿐만 아니라 아름다운 체색 때문에 관광어로서 가치가 점차 높아지고 있다. 따라서 이들의 인공증식 기술개발은 생물자원의 보호와 중요성을 인식할 수 있는 중요한 자료로서 환경오염과 남획으로 인한 개체 수 감소를 미연에 방지할 수 있을 것으로 기대된다.

요 약

이 연구는 우리나라 고유종인 낙동납자루의 초기생활사를 연구하여 분류학적 연구의 기초자료로 이용하고자 한다. 낙동납자루는 수컷의 뒷지느러미 가장자리 검은색 띠가 짙고, 암컷의 산란관이 오렌지색을 띠는 것으로 알려져 있다. 난의 형태는 방추형이었고, 난경은(장경×단경) 4.41×1.44 mm였다. 부화에 소요되는 시간은 수온 21.0°C일 때 126시간이 소요되었다. 부화 직후의 자어는 난황을 가지고 있으며, 평균 전장은 5.91 ± 0.18 mm (n=5)였다. 부화 후 18일째에는 꼬리지느러미가 발달하였고, 평균 전장은 8.02 ± 0.08 mm (n=5)였다. 부화 후 41일째 자어는 난황을 대부분 흡수하였고, 평균 전장은 8.70 ± 0.23 mm (n=5)였다. 부화 후 80일째 자어는 지느러미 기조 수가 정수에 달하였고, 평균 전장 12.6 ± 0.28 mm (n=5)였다. 지느러미 기조 수는 등지느러미 iii.8개, 뒷지느러미 iii.9~10개, 꼬리지느러미 19개, 측선비늘 수 32~35개로 어미와 유사하였다.

REFERENCES

- Arai, R. 1988. Fish systematics and cladistics. In: Ueno, T. and M. Okiyama (eds.), Ichthyology Currents 1988. Tokyo, Asakurashoten, pp. 4-33.
- Baek, H.M. and H.B. Song. 2005a. Egg morphology and early life history of *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae). Korean J. Ecol., 28: 281-286. (in Korean)
- Baek, H.M. and H.B. Song. 2005b. Spawning in mussel and adapta-

- tion strategy of *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae: Acheilognathinae). Korean J. Ichthyol., 17: 105-111.
- Banarescu, P. 1990. Zoogeography of fresh waters, vol. 1: General distribution and dispersal of freshwater animals. Aula-Verlag. Wiesbaden, pp. 71-94.
- Chang, C.H., L. Fan, K.T. Shao, Y.S. Lin, T. Morosawa, S.M. Kim, H.Y. Koo, W. Kim, J.S. Lee, S. He, C. Smith, M. Reichard, M. Miya, T. Sado, K. Uehara, S. Lavoue, W.J. Chen and R.L. Mayden. 2014. Phylogenetic relationships of Acheilognathidae (Cypriniformes: Cyprinoidea) as revealed from evidence of both nuclear and mitochondrial gene sequence variation: Evidence for necessary taxonomic revision in the family and the identification of cryptic species. Mol. Phylogenet. Evol., 81: 182-194.
- Jeon, H.B., D. Anderson and H. Won. 2017. Taxonomic characterization of *Tanakia* species (Acheilognathidae) using DNA barcoding analyses. Mitochondrial DNA Part, A 1-10.
- Kearse, M., R. Moir, A. Wilson, S. Stones-Havas, M. Cheung, S. Sturrock and T. Thierer. 2012. Geneious Basic: an integrated and extendable desktop software platform for the organization and analysis of sequence data. Bioinformatics, 28: 1647-1649.
- Kim, C.H. 1991. Systematic studies on the bitterlings, genus *Acheilognathus* (Pisces: Cyprinidae) from Korea. Ph. D. Dissertation, University of Jeonbuk National, Jeonju, Korea, pp. 73-77. (in Korean)
- Kim, C.H., E.J. Kang and J.H. Kim. 2006. Development of eggs and early life history of Korean bitterling, *Rhodeus pseudosericeus* (Acheilognathinae). Korean J. Ichthyol., 18: 266-272. (in Korean)
- Kim, C.H., T. Ishinabe, M.K. Kim and W.J. Kim. 2012. Development of eggs and early life history of *Acheilognathus macropterus* (Acheilognathinae) from Japan. Korean J. Ichthyol., 24: 101-109. (in Korean)
- Kim, C.H., W.O. Lee, J.H. Lee and J.M. Beak. 2011. Reproduction study of Korean endemic species *Acheilognathus koreensis*. Korean J. Ichthyol., 23: 150-157. (in Korean)
- Kim, C.H., W.S. Choi, D.H. Kim and J.M. Beak. 2014a. Egg development and early life history of Korean endemic species, *Acheilognathus majusculus* (Acheilognathinae). Korean J. Ichthyol., 26: 17-24. (in Korean)
- Kim, D.M., H.B. Jeon and H.Y. Suk. 2014b. *Tanakia latimarginata*, a new species of bitterling from the Nakdong River, South Korea (Teleostei: Cyprinidae). Ichthyol. Explor. Freshwaters, 25: 59-68.
- Kim, I.S., Y. Choi, C.L. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim. 2005. Illustrated book of Korean fishes. Kyo Hak Publishing, Seoul Korea, pp. 130-132. (in Korean)
- Kim, Y.U. and K.H. Han. 1990. Early life history of the Korean bitterling, *Rhodeus uyekii* (Cyprinidae) reared in the laboratory. Korean J. Ichthyol., 2: 159-168. (in Korean)
- Kim, Y.U. and Y.S. Park. 1985. Egg development and larvae of the rose bitterling *Rhodeus ocellatus* (Kner). Bull. Korean Fish. Soc., 18: 586-593. (in Korean)
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2011. National list of species of Korea (Vertebrates). National institute of biological resources, pp. 28-36. (in Korean)
- NIBR (National Institute of Biological Resources). <Endangered wild animals and plants. Retrieved from https://species.nibr.go.kr/home/mainHome.do?cont_link=011&subMenu=011010&contCd=011010003> (on 30 May 2018).
- Song, H.B. and S.S. Choi. 2000. Reproductive ecology and early life history of paradise fish, *Macropodus chinensis* (Pisces; Belontiidae) in aquarium. Korean J. Limnol., 33: 282-294. (in Korean)
- Suzuki, N. and S.R. Jeon. 1987. Development of the bitterling, *Acheilognathus yamatsutae* (Cyprinidae), with notes on minute tubercles on the skin surface and paryngeal apparatus. Korean J. Lim., 20: 229-241. (in Korean)
- Suzuki, N. and S.R. Jeon. 1988a. Development of egg and larvae of the bitterling, *Rhodeus suigensis* (Cyprinidae) from Korea, with a note on minute tubercles on the skin surface. Korean J. Lim., 21: 231-242. (in Korean)
- Suzuki, N. and S.R. Jeon. 1988b. Development of the bitterling, *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae), with a note on minute tubercles on the skin surface. Korean J. Lim., 21: 165-179. (in Korean)
- Suzuki, N. and S.R. Jeon. 1988c. Development of the bitterling, *Acheilognathus limbata* (Cyprinidae) from Korea and Japan, with notes on minute tubercles on the skin surface and on the genetic implication in hybrid embryos. Korean J. Lim., 21: 211-229. (in Korean)
- Suzuki, N. and S.R. Jeon. 1989. Development of the bitterling, *Acanthorhodus asmussi* (Cyprinidae) with note on minute tubercles on the skin surface. Korean J. Ichthyol., 1: 73-82. (in Korean)
- Suzuki, N. and S.R. Jeon. 1990a. Development *Acheilognathus lanceolatus* from Ungchon river, Korea. Korean J. Ichthyol., 2: 77-87. (in Korean)
- Suzuki, N. and S.R. Jeon. 1990b. Development of bitterling, *Acanthorhodus* (= *Acheilognathus*) *gracilis* (Cyprinidae), with a note on minute tubercles on the skin surface. Korean J. Ichthyol., 2: 169-181. (in Korean)