

낙동강 수계 위천에 서식하는 큰납지리(*Acheilognathus macropterus*) (Pisces : Cyprinidae)의 초기생활사

박재민 · 한경호^{1*}

경상북도 토속어류산업화센터, ¹전남대학교 수산과학과

Early Life History of *Acheilognathus macropterus* (Pisces: Cyprinidae) in the Wicheon Stream of Nakdonggang River

Jae-Min Park and Kyeong-Ho Han^{1*}

Gyeongsangbuk-Do Native Fish Business Center, Uiseong 37366, Republic of Korea

¹Fishery Science Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea

The development of the egg, larvae, and juveniles of *Acheilognathus macropterus* from the Wicheon stream of Nakdonggang River was investigated for early life history characteristics. The fish used in the study were collected from Wicheon stream located in Bian-myeon, Uiseong-gun, Gyeongsangbuk-do. The fertilized egg was 1.88 ± 0.09 mm (n=30) in long diameter and 1.34 ± 0.06 mm (n=30) in short diameter. After fertilization at a water temperature of 20°C, the egg took 31 h and 40 min to hatch. Newly hatched larvae had an average total length of 3.92 ± 0.13 mm (n=30) and possessed a yolk sac the mouth and anus were not developed. Twenty days after hatching, the postflexion larvae had an average total length of 8.08 ± 0.29 mm (n=30), with the tail tip fully bent at 45° and began feeding. Thirty-three days after hatching, the number of fin stems reached an integer with an average total length of 15.0 ± 1.08 mm (n=30). In this study, differences in the egg size, hatching time, melanophore development period, and distribution location were confirmed between *A. macropterus* and allied species.

Keyword: *Acheilognathus macropterus*, Acheilognathinae, Egg development, Larvae, Juvenile

서론

어류의 난발생 및 초기생활사 연구는 종의 산란장소 선택과 난 및 자치어 발달 등 특유의 생식전략을 분석하여 종의 특징을 규명하고 유사종과의 분류학적 유연관계를 밝히는데 적용되어 왔다(Blaxter, 1974; Balon, 1985; Shimizu et al., 1998; Ko and Bang, 2014). 납자루아과(Acheilognathinae) 어류는 소형 담수어류로서 전 세계 3속 75종이 분포하는 것으로 알려져 있으며, 우리나라에는 3속 16종이 서식하고 있다(Chang et al., 2014; Nelson et al., 2016; Chae et al., 2019). 이들은 석패과에 속하는 담수산 이매패류를 숙주로 하여 산란하는 독특한 산란 습성을 가지고 있어 난 내 발생과 전기자치 시기를 조개 안에서 보냄으로써 높은 생존율을 유지하도록 진화하였다(Baek and Song, 2005). 그러나 서식환경의 변화로 담수 이매패류가 감소

하여 오히려 산란숙주에 의존하는 납자루아과 어류의 생존전략이 불리하게 작용하고 있어 최근 개체수 감소 등으로 보존의 필요성이 높은 분류군으로 보고 있다(Kim et al., 2011). 큰납지리(*Acheilognathus macropterus*)는 잉어목(Cypriniformes) 납자루아과 *Acheilognathus*속에 속하는 어류로 우리나라의 압록강에서 낙동강까지 서해와 남해로 흐르는 하천 및 그 부근의 수역에 분포하고 물 흐름이 정체된 강의 가장자리나 호수, 저수지 등의 수초가 많은 곳에 주로 서식한다. 국외에는 중국의 남쪽 양쯔강 지류에서 북쪽의 만주 라오허, 헤이룽강, 러시아의 아무르 수역에 분포하며, 동아시아에 분포하는 납자루 종류 중 크기가 가장 큰 종이다(Kim, 1997, 2007; Kim et al., 2005; Chae et al., 2019; Froese and Pauly, 2023). 큰납지리에 대한 연구는 자연산 자치어의 형태(Uchida, 1939), 난발생과 자어의 표피상돌기(Suzuki and Jeon, 1989), 분류학적 연구(Kim, 2007), 개체군

*Corresponding author: Tel: +82. 61. 659. 7163 Fax: +82. 61. 659. 7169

E-mail address: aqua05@jnu.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2023.0676>

Korean J Fish Aquat Sci 56(5), 676-683, October 2023

Received 10 August 2023; Revised 20 September 2023; Accepted 22 September 2023

저자 직위: 박재민(연구사), 한경호(교수)

생태(Kim and Kim, 2012), 일본산 큰납지리의 난발생과 초기 생활사(Kim et al., 2012) 등이 진행되었다. 큰납지리는 난발생 및 자어 형태가 일부 보고되었으나, 초기생활사 중 형태학적 특성이 극대화되는 치어기까지의 형태적 특징에 대한 자료를 추가로 확보함으로써 근연종과 비교할 수 있는 분류학적 연구의 기초자료를 확보하고자 하였다.

재료 및 방법

친어확보

연구에 사용된 친어는 경북 의성군 비안면에 위치한 위천으로 유입되는 지류에서 통발로 포획 후 연구실로 운반하였다. 친어는 수컷 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)였다. 친어는 PVC (polyvinyl chloride) 재질의 사각수조(50×45×35 cm)에서 순환여과식으로 사육하였고, 수조 내 산란유도를 위해 각 장 10 cm 이상의 석패과(Unionidae) 이매패류 말조개(*Unio douglasiae*) 3마리를 모래가 담긴 작은 용기에 넣어주었다. 먹이는 1일 2회씩 배합사료(Tetra Bits, Germany)를 공급하였고, 사육 수온은 19.0–23.0°C (평균 21.0±2.0°C)를 유지시켜 주었다.

인공채란 및 수정

수컷은 혼인색과 입 주변에 추성이 형성되었고, 암컷은 산란관이 뒷지느러미 보다 길게 신장한 개체로부터 복부를 압박 후 채란하였다. 수정은 멸균 처리된 생리식염수(0.9% NaCl)가 담긴 페트리디쉬(Ø 15 cm)에 채란하여 수컷의 정액을 혼합해 습식법으로 인공수정 하였다.

난 발생 및 자치어 형태발달

난 크기는 성숙란 30개를 임의로 선택하여 실체현미경(SMZ18; Nikon, Tokyo, Japan)으로 0.01 mm까지 측정하였고, 난발생은 단계별로 관찰 및 사진 촬영하였다. 난발생 및 자치어 사육 수온은 어미사육 수온과 동일한 조건을 유지해주었다. 자치어 사육은 부화 직후부터 유영하기 전까지 부화기(Zisstumbler; ZissAQUA, Osan, Korea)에서 사육하였고, 이후 유영이 시작되는 시기부터 사각 유리수조(25×25×25 cm)에서 사육하였다. 먹이는 *Artemia* sp. nauplius 유생을 mL당 2–3개체를 1일 2회 공급하였고, 자치어 형태발달 관찰은 1–5일마다 30마리를 선택하여 MS-222 (Ethyl 3-aminobenzoate methanesulfonate; Sigma Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)로 마취 후 실체현미경으로 크기측정 및 사진촬영 하였다.

결 과

난의 형태 및 특징

큰납지리의 난 형태는 타원형으로 난황의 색은 황색을 띠었

다. 성숙란은 난막이 얇은 상태로 부착성이 없는 분리 침성난이었다. 성숙란의 크기는 장경 1.68–2.03 mm (평균 1.83±0.10 mm, n=30), 단경 1.23–1.44 mm (평균 1.32±0.06 mm, n=30)였다.

난발생 과정

난은 수정 직후 물을 흡수하기 시작하였고, 수정 후 10분에는 난막이 형성되었다(Fig. 1A). 수정란의 크기는 장경 1.72–2.03 mm (평균 1.88±0.09 mm, n=30), 단경 1.23–1.41 mm (평균 1.34±0.06 mm, n=30)였다. 수정 후 30분에는 동물극에 배반이 형성되었고(Fig. 1B), 수정 후 1시간 40분에는 난할이 2개로 나누어지면서 2세포기에 달하였다(Fig. 1C). 수정 후 2시간 40분에는 난할이 같은 크기로 다시 나누어지면서 4세포기에 달하였고(Fig. 1D), 같은 방식으로 수정 후 3시간 40분에는 8세포기에 달하였다(Fig. 1E). 수정 후 4시간 40분에는 16세포기(Fig. 1F), 수정 후 5시간 40분에는 난할의 개수가 증가하면서 32세포기(Fig. 1G), 수정 후 6시간 40분에는 64세포기에 달하였다(Fig. 1H). 수정 후 7시간 40분에는 난할의 수가 셀 수 없을 정도로 증가하여 상실기에 달하였다(Fig. 1I). 수정 후 9시간 10분에는 포배기에 달하였고(Fig. 1J), 수정 후 14시간 40분에는 동물극에서 식물극 쪽으로 난황이 20% 덮여 내려오면서 초기 낭배기에 달하였다(Fig. 1K). 수정 후 18시간 40분에는 난황의 50%를 덮여 내려와 중기 낭배기에 달하였고(Fig. 1L), 수정 후 21시간 40분에는 난황의 90%를 덮여 내려와 말기 낭배기에 달하였다(Fig. 1M). 수정 후 24시간 40분에는 난황의 표면에 배체가 형성되기 시작하였고(Fig. 1N), 수정 후 29시간 10분에는 배체에는 머리가 발달하였다(Fig. 1O). 수정 후 30시간 40분에는 6개의 근절이 발달하였고, 꼬리가 발달하였다(Fig. 1P). 수정 후 31시간 40분에는 머리 방향의 난황이 난막을 뚫고 나오면서 부화가 시작되었다(Fig. 1Q). 수정 후 35시간 40분에는 전체 수정란의 50%가 부화하였고, 수정 후 38시간 40분에는 모든 개체의 부화가 완료되었다(Fig. 1R).

자치어 형태발달

부화 직후 자어는 전장 3.78–4.19 mm (전장 3.92±0.13 mm, n=30)로 난황과 몸통에는 표피상 돌기가 발달하였고, 입과 항문은 발달하지 않았다. 난황은 몸길이 전체의 81.2–82.9%를 차지하였고, 움직임은 관찰되지 않았다(Fig. 2A).

부화 후 2일째 난황자어는 전장 4.98–5.81 mm (전장 5.49±0.24 mm, n=30)로 꼬리는 타원형의 막지느러미로 발달하였고, 자어의 움직임이 활발해졌다. 눈의 가운데는 눈동자가 분화하기 시작하였고, 난황은 몸길이 전체의 68.4–69.2%를 차지하였다(Fig. 2B).

부화 후 3일째 난황자어는 전장 5.53–5.91 mm (전장 5.75±0.11 mm, n=30)로 꼬리부분의 막지느러미는 더욱 넓게 발달하였고, 눈의 가운데는 눈동자가 완전히 발달하였다. 꼬리 끝의 척색 말단은 상단 위쪽으로 휘어지기 시작하였다. 난황은

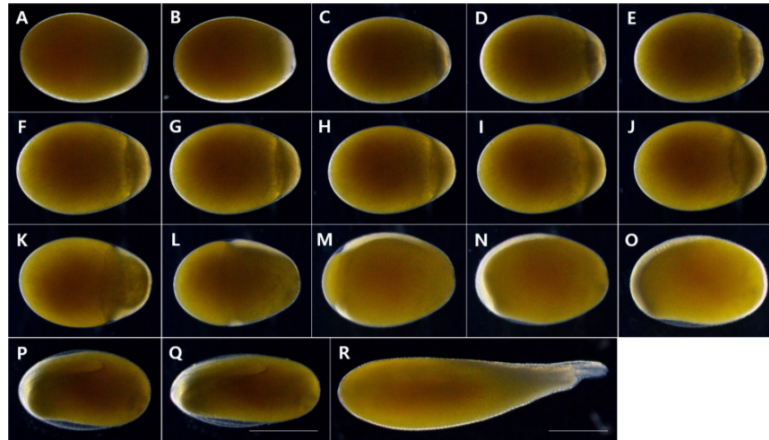


Fig. 1. Egg development stages of *Acheilognathus macropterus*. A, Fertilized egg; B, Blastodisc; C, 2 cells; D, 4 cells; E, 8 cells; F, 16 cells; G, 32 cells; H, 64 cells; I, Morula stage; J, Blastula stage; K, Early gastrula stage; L, Middle gastrula stage; M, Late gastrula stage; N, Embryo formation; O, Development of head; P, 6 myotomes; Q, Start of hatching; R, Hatched larva. Scale bars=1.0 mm.

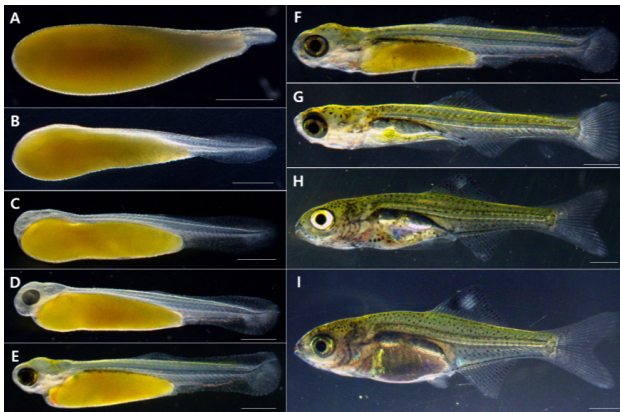


Fig. 2. Larvae and juvenile development of *Acheilognathus macropterus*. A, Newly hatched larvae, 3.92 mm in total length (TL); B, 2 days after hatching, 5.49 mm in TL; C, 3 days after hatching, 5.75 mm in TL; D, 5 days after hatching, 6.33 mm in TL; E, 8 days after hatching, 6.53 mm in TL; F, 15 days after hatching, 7.43 mm in TL; G, 20 days after hatching, 8.08 mm in TL; H, 25 days after hatching, 10.0 mm in TL; I, 33 days after hatching, 15.0 mm in TL. Scale bars=1.00 mm.

몸길이 전체의 61.8–62.3%를 차지하였다(Fig. 2C).

부화 후 5일째 난황자어는 6.27–6.42 mm (전장 6.33 ± 0.04 mm, $n=30$)로 눈에는 흑색소포가 침착하였고, 가슴 양쪽에는 한 쌍의 돌기가 발달하였다. 꼬리 끝 척색 말단 아래 부분에는 줄기가 발달하기 시작하였고, 난황은 몸길이 전체의 52.5–53.2%를 차지하였다(Fig. 2D).

부화 후 8일째 난황자어는 전장 6.41–6.72 mm (전장 6.53 ± 0.10 mm, $n=30$)로 눈에는 렌즈가 발달하였고, 등지느러

미는 분화하기 시작하였으며, 꼬리지느러미에는 13–16개의 줄기가 발달하였다. 흑색소포는 난황 위쪽부분에 나뭇가지 모양으로 침착하였고, 머리에는 반점 모양의 흑색소포가 침착하였다. 난황은 몸길이 전체의 45.5–46.6%를 차지하였다(Fig. 2E).

부화 후 15일째 중기자어는 전장 7.29–7.64 mm (전장 7.43 ± 0.13 mm, $n=30$)로 각 부위별 지느러미 줄기 수는 등지느러미 5–7개, 뒷지느러미 4–6개가 발달하였고, 꼬리지느러미는 16–19 (10+9)개로 증가하였다. 난황 위부분에는 부레가 발달하기 시작하였고, 움직임은 수직으로 수면 위와 아래를 반복하면서 유영하였다. 흑색소포는 몸통, 아가미 뚜껑, 입 주변, 미병부에 반점모양으로 침착하였고, 머리에 침착되었던 반점모양은 나뭇가지 모양으로 발달하였다. 입이 열리기 시작하였고, 일직선의 소화관이 발달하면서 항문이 열렸으나 먹이활동은 하지 않았다. 난황은 몸길이 전체의 35.1–36.5%를 차지하였다(Fig. 2F).

부화 후 20일째 후기자어는 전장 7.76–8.90 mm (전장 8.08 ± 0.29 mm, $n=30$)로 수평으로 유영하면서 먹이 섭취를 시작하였고, 난황은 대부분 흡수되어 몸 전체 23.9–25.3%를 차지하였다. 막으로 이어져 있던 등지느러미, 뒷지느러미, 꼬리지느러미는 분리되었고, 소화관은 나선형으로 발달하였다. 꼬리지느러미는 상엽과 하엽 두 갈래로 나누어지기 시작하였고, 꼬리 끝 척색 말단은 상단 위쪽 45° 로 완전히 휘어졌다. 각 부위별 지느러미 줄기 수는 등지느러미 14–16개, 뒷지느러미 11–13개, 꼬리지느러미 19개(10+9)로 증가하였다. 흑색소포는 몸통 중앙을 따라 침착하였고, 등지느러미 줄기 위쪽에도 침착하였다(Fig. 2G).

부화 후 25일째 후기자어는 전장 8.99–11.1 mm (전장 10.0 ± 0.76 mm, $n=30$)로 배지느러미는 분화하기 시작하였고, 각 부위별 지느러미 줄기 수는 등지느러미 16–18개, 뒷지느러

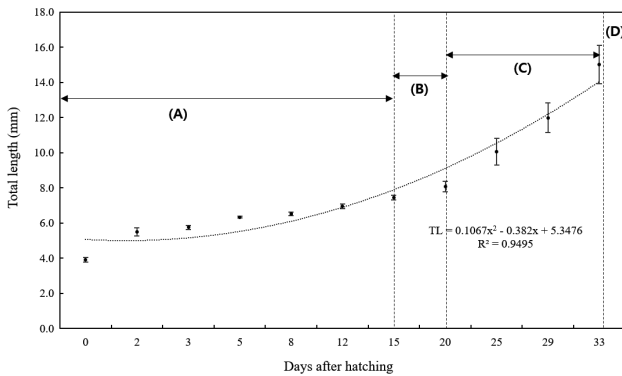


Fig. 3. Growth of larvae and juvenile of *Acheilognathus macrop-terus*. A, Yolk sac larvae; B, Flexion larvae; C, Postflexion larvae; D, Juvenile.

미 14-16개로 증가하였다. 흑색소포는 몸통 전체에 침착하였고, 머리 윗부분에 침착되었던 나뭇가지 모양 흑색소포는 다시 반점모양으로 발달하였다. 등지느러미 세 번째 줄기에서 일곱 번째 줄기까지 흰색의 색소포가 발달하였고, 뒷지느러미 줄기 위쪽에도 흑색소포가 침착하였다(Fig. 2H).

부화 후 33일째 치어는 전장 13.6-16.7 mm (전장 15.0±1.08 mm, n=30)로 배지느러미에는 5개의 줄기가 발달하였고, 등지느러미에는 두 번째부터 여덟 번째까지 흑색소포가 밀집되어 발달하였고, 여섯 번째부터 아홉 번째까지 흰색의 색소포가 밀집되어 발달하였다. 꼬리지느러미 줄기 시작부분에는 가로방향으로 일렬의 흑색소포가 발달하였다. 각 부위별 지느러미 줄기 수는 등지느러미 18-22개, 뒷지느러미 15-16개, 꼬리지느러미 19개로 정수에 달하였다(Fig. 2I).

자치어 성장

큰납지리 자치어의 발육단계별 성장은 Fig. 3과 같았다. 부화 직후부터 부화 후 2일까지 성장하면서 움직임이 활발해졌고, 난황 흡수가 완료되기 전인 부화 후 15일까지 완만한 성장을 보였다. 이후 유영이 정상적으로 이루어지면서 초기 먹이생물인 알테미아를 섭취하였으며 부화 후 33일까지 빠른 성장속도를 보였다.

고 찰

큰납지리의 성숙란은 난막이 얇은 타원형으로 물에 가라앉는 성질을 가진 침성란이었다. 이는 Suzuki and Jeon (1989)의 선행연구 결과와 동일하였고, 같은 속 어류인 일본산 큰납지리, 가시납지리는 장타원형을 나타내 차이를 보였다.

큰납지리의 수정란(장경×단경) 평균 크기는 1.88×1.34 mm, 영암천 개체(Suzuki and Jeon, 1989)은 1.95×1.61 mm로 크기 차이를 보였다. 일본산 큰납지리(Kim et al., 2012)는 2.78×1.44 mm, 가시납지리(Suzuki and Jeon, 1990b)

2.09×1.26 mm로 큰납지리는 일본산 큰납지리와 가시납지리보다 장경이 작았고, 가시납지리보다 단경이 컸다.

부화에 소요되는 시간은 수온 21.0±2.0°C에서 31시간 40분이 소요되었고, 영암천 개체(Suzuki and Jeon, 1989)은 수온 22.0±1.0°C에서 44시간이 소요되었다. 일본산 큰납지리(Kim et al., 2012)는 수온 20.0±1.0°C에서 76시간이 소요되었고, 가시납지리(Suzuki and Jeon, 1990b)는 수온 22.0±1.0°C에서 38시간이 소요되었다. 비교한 근연종들은 수온 20-22°C 범위에서 난발생이 이루어졌고, 영암천 개체와 13시간 차이로 유사한 수온 범위 내에서도 부화 소요시간에 차이를 보였다. 근연종인 일본산 큰납지리는 45시간, 가시납지리 7시간으로 차이를 보여 큰납지리보다 부화시간이 오래 소요되었다.

본 연구에서 큰납지리 위천 개체는 영암천 개체보다 낮은 수온임에도 부화시간이 짧게 소요되는 특이점을 보였는데 세포분열이 시작되는 시기부터 위천 개체는 1시간, 영암천 개체는 30분 단위로 위천 개체보다 빠른 발생속도를 보였으나 낭배 말기부터 발생속도는 영암천 개체보다 위천 개체가 빠른 발달을 보였다. 이러한 차이는 난발생 수온이 위천 개체 19-23°C, 영암천 개체 21-23°C 범위를 보였으며 발생 단계별로 수온변화의 영향을 받아 차이를 보인 것으로 판단된다. 다른 종이지만 해산 어류인 뱃메돔(*Girella punctata*)과 긴꼬리뱃메돔(*G. melanichthys*) (Oh et al., 2010)의 수온별 난발생 부화 실험의 경우 동일한 조건에서 수온에 따라 1-6시간의 차이를 보였는데 이는 종간의 특이점이라고 판단되며, 큰납지리의 또한 향후 자세한 규명을 위해 수계별 개체를 대상으로 동일한 환경 내에서 난발생 비교 연구가 필요할 것으로 생각된다.

부화 자어 크기를 비교한 결과 평균 전장 3.92±0.13 mm, 영암천 개체(Suzuki and Jeon, 1989)는 3.04 mm, 일본산 큰납지리(Kim et al., 2012) 3.8 mm, 가시납지리(Suzuki and Jeon, 1990b) 3.31 mm로 근연종들과 큰 차이를 보이지 않았다(Table 1).

자어 시기의 흑색소포 발달 시기를 비교한 결과 큰납지리는 부화 후 5일째 평균 전장 6.33±0.04 mm일 때 눈에 최초로 침착하였고, 부화 후 8일째 평균 전장 6.53±0.10 mm일 때 난황의 윗부분에 나뭇가지 모양으로 침착하였다. 영암천 개체(Suzuki and Jeon, 1989)는 부화 후 8일째 전장 5.98 mm일 때 눈에 침착하였고, 부화 후 13일째 전장 6.86 mm일 때 꼬리, 등, 배 쪽 정중앙, 몸의 등쪽 정중앙, 난황과 배체에 침착하였다. 본 연구에서는 영암천 개체(Suzuki and Jeon, 1989)의 결과보다 빠른 시기에 흑색소포가 발달하였고, 발달 부위에서도 차이를 보였으나 두 수계 간의 형태를 비교한 결과는 유사하였다. 다만 흑색소포의 발달시기와 부위의 차이는 본 연구의 위천 개체가 영암천 개체에 비해 다소 빠른 발달 정도를 보인 것으로 이후 위천 개체와 영암천 개체의 형태적 특징은 유사하였다.

일본산 큰납지리(Kim et al., 2012)는 부화 후 10일째 전장 7.2 mm일 때 눈에 침착하여 부화 후 15일째 전장 8.2 mm일 때

두부 상단과 척추 상단에 침착하였다. 가시납지리(Suzuki and Jeon, 1990b)는 부화 후 10일째 전장 6.50 mm일 때 눈의 동공과 미부 복측 중앙과 난황에 침착하였다(Table 2). 큰납지리는 일본산 큰납지리와 눈의 동공에 흑색소포가 먼저 침착하는 반면, 가시납지리는 눈의 동공과 배체에 흑색소포가 동시에 침착하여 발달과정에서 차이점을 확인할 수 있었다.

난황 흡수 완료 후 수평으로 유영하는 시기는 부화 후 20일째 평균 전장 8.08±0.29 mm로 영암천 개체(Suzuki and Jeon, 1989)는 부화 후 21일째 전장 8.30 mm로 시기와 크기가 유사하였다. 일본산 큰납지리(Kim et al., 2012)는 부화 후 25일째 전장 9.0 mm, 가시납지리(Suzuki and Jeon, 1990b) 부화 후 21일째 전장 7.81 mm로 수평으로 유영하는 시기는 부화 후 20–25일로 나타났고 이 시기의 크기는 가시납지리가 가장 작았다.

후기자어기로 이행시기를 비교한 결과 부화 후 20일째 평균 전장 8.08±0.29 mm, 영암천 개체(Suzuki and Jeon, 1989)는 부화 후 21일째 전장 8.30 mm로 시기와 크기가 유사하였다. 일본산 큰납지리(Kim et al., 2012)는 부화 후 25일째 전장 9.0 mm,

가시납지리(Suzuki and Jeon, 1990b) 부화 후 21일째 전장 7.81 mm로 이행 시기는 근연종 모두 유사하였으나 크기는 가시납지리가 가장 작았다.

큰납지리는 부화 후 33일째 평균 전장 15.0±1.08 mm일 때 등지느러미에 흑색소포가 타원형으로 밀집되어 발달한다. 또한 영암천 개체(Suzuki and Jeon, 1989)의 선행연구에서도 같은 결과를 나타낸다. 본 연구의 큰납지리는 치어기로 접어든 시기에 확연한 발달을 나타냈고, 영암천 개체(Suzuki and Jeon, 1989)는 후기자어기에 배지느러미의 분화가 시작된 시점에 발달하여 차이를 보였다. 영암천 개체(Suzuki and Jeon, 1989)의 선행연구 결과는 본 연구에서 부화 후 25일째 후기자어의 형태와 유사하였고, 이 시기에는 흑색소포가 타원형으로 밀집되고 있어 선행연구 결과와 본 연구의 관찰시점에 차이를 보인 것으로 생각된다. 가시납지리(Suzuki and Jeon, 1990b)는 큰납지리와 달리 부화 후 27일째 전장 8.94 mm일 때 등지느러미에 세로방향으로 3–4열의 흑색소포가 발달하여 형태적 차이를 나타냈다.

후기자어 시기 형태적 특징을 다른 납자루아과 어류와 비교

Table 1. Comparison of egg and larvae size in Acheilognathinae fishes by each investigator

Species	Habitat	Egg type	Egg size (mm) (mean, long×short)	Time of hatching (*W.T. °C)	Newly hatched larvae size (mm)	Authors
	Wicheon stream	Ovoid	1.88×1.34	31 h 40 min (21)	3.78–4.19	Present study
<i>Acheilognathus macropterus</i>	Yeongamcheon stream	"	1.95×1.61	44 h (22)	3.04	Suzuki and Jeon (1989)
	Ibaraki prefecture in Japan	"	2.78×1.44	76 h (20)	3.8	Kim et al. (2012)
<i>A. chankaensis</i>	Juksancheon stream	"	2.09×1.26	38 h (22)	3.31	Suzuki and Jeon (1990b)
<i>A. yamatsutae</i>	Bukhangang River	"	1.94×1.57	39 h (22)	3.79–3.82	Suzuki and Jeon (1987)
	Uiamho lake	"	1.97×1.74	33 h (25)	4.40	Song and Kwon (1989)
<i>A. majusculus</i>	Yeonggang River	"	2.12×1.86	43 h (18)	4.19–4.28	Kim et al. (2014)
<i>Rhodeus ocellatus</i>	Wicheon stream	Bulb like	2.62×1.53	50 h (21.5)	3.67	Park and Han (2018)
<i>R. uyekii</i>	"	"	3.68×1.45	48 h (21.5)	4.98	
<i>R. notatus</i>	Anseoungcheon stream	"	3.58×1.17	40 h (22)	4.31	Suzuki and Jeon (1988a)
<i>R. psedosericeus</i>	Namhangang River	"	2.80×1.80	70 h (17)	3.30	Kim et al. (2006)
<i>Tanakia lanceolata</i>	Ungcheoncheon stream	Fusiform	4.58×1.49	62 h (22)	5.30–5.51	Suzuki and Jeon (1990a)
<i>T. signifer</i>	Naechoncheon stream	Pear	2.19×1.85	49 h (20)	3.32–3.41	Beak and Song (2005a)
<i>T. koreensis</i>	Somjingang River	Fusiform	4.66×1.49	47 (22)	5.54	Suzuki and Jeon (1988b)
	Geumgang River	"	3.19×1.34	45 (22)	6.38	
<i>T. somjinensis</i>	Somjingang River	Fusiform	3.70×2.30	68–75 h (22)	5.20	Kim (1991)
<i>T. lartimarginata</i>	Yeonggang River	"	4.41×1.44	122 (21)	5.91	Park et al. (2018)

*W.T., Water temperature.

한 결과 낙동납자루(*Tanakia latimarginata*) (Park et al., 2018)는 부화 41일째 전장 8.70 mm일 때 등지느러미와 꼬리지느러미에 반점모양의 흑색소포가 세로 줄로 이어졌고, 각시붕어(*Rhodeus uyekii*) (Park and Han, 2018)는 부화 후 23일째 전장 8.97 mm일 때 등지느러미, 뒷지느러미, 꼬리지느러미 기조 위에 반점모양의 흑색소포가 침착 되어 있었다. 흰줄납줄개(*R. ocellatus*) (Park and Han, 2018)는 부화 후 17일째 전장 8.12 mm 일 때 등지느러미 기조에 1열, 꼬리지느러미, 뒷지느러미 기조를 따라 반점모양으로 흑색소포가 침착 되어 있었다. 큰줄납자루(*Acheilognathus majusculus*) (Kim et al., 2014)는 부화 후 25일째 전장 10.4 mm일 때 몸 전체와 각 지느러미 기조에 소형 흑색소포가 분포하였다. 납자루아과 어류의 후기자어기는 흑색소포의 부위별 분포 위치에 따라 형태적 차이를 확인할 수 있었다.

치어기로 이행시기를 비교한 결과 부화 후 33일째 전장 15.0±1.08 mm일 때 모든 지느러미의 줄기 수가 정수에 달하였다. 영암천 개체(Suzuki and Jeon, 1989)는 부화 후 34일째 전장 11.8 mm일 때 막으로 된 배지느러미의 줄기가 분화하기 시작하여 본 연구와 차이를 보였다(Table 3). 부화 일수가 유사함에도 전장 크기 차이와 발육 상태에 차이를 보이는 것은 사육환경(수온, 먹이공급 등)이 영향을 미친 것으로 사료된다. 가시납지리(Suzuki and Jeon, 1990b)는 부화 후 27일째 전장 13.0 mm로 큰납지리 보다 빠른 시기에 치어기로 이행하였다.

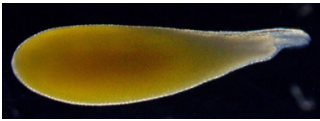
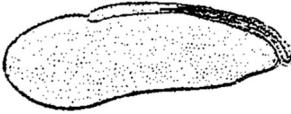
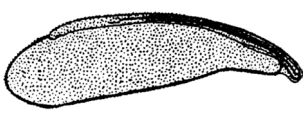
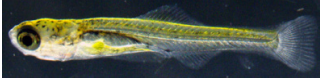


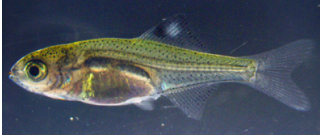

본 연구를 종합한 결과 위에서 서식하는 큰납지리의 난 크기는 장경을 기준으로 가장 작은 점, 부화시간이 유사한 수온범위 내에서 가장 짧은 점, 후기자어 이행시기 가시납지리 보다 크기가 큰 점, 등지느러미 흑색소포가 타원형으로 밀집되어 발달하는 점, 유사한 환경에서 가시납지리 보다 치어 이행시기가 늦은

Table 2. Comparison of larvae melanophore distribution in genus *Acheilognathus* fishes in Korea

Species	Stages	Melanophore distribution								References
		Total length (mm)	Eyes	Parietal	Rectum	Yolk	Caudal	Ventral abdominal	Lateral	
<i>Acheilognathus macropterus</i> (Wicheon stream)	Yolksac	6.33	+	-	-	-	-	-	-	Present study
	Flexion	6.53	+	-	-	+	-	-	-	
<i>A. macropterus</i> (Yeongamcheon stream)	Yolksac	5.98	+	-	-	-	-	-	-	Suzuki and Jeon (1989)
	Flexion	6.86	+	-	+	+	+	+	+	
<i>A. macropterus</i> (Ibaraki prefecture in Japan)	Yolksac	7.2	+	-	-	-	-	-	-	Kim et al. (2012)
	Flexion	8.2	+	+	-	-	-	-	+	
<i>A. chankaensis</i> (Juksancheon stream)	Yolksac	5.77	+	-	-	-	-	-	-	Suzuki and Jeon (1990b)
	Flexion	6.50	+	-	+	+	-	-	-	

+, Present; -, Absent.

Table 3. Comparison of larvae and juveniles development in genus *Acheilognathus* fishes in Korea

Stages	Species		
	<i>Acheilognathus macropterus</i> ¹ (Wicheon stream)	<i>A. macropterus</i> ² (Yeongamcheon stream)	<i>A. chankaensis</i> ³
Yolk-sac larvae	 3.78-4.19 mm	 3.94 mm	 3.31 mm
Postflexion larvae	 7.76-8.90 mm	 8.30 mm	 7.81 mm
Juveniles	 13.6-16.7 mm	—	 13.0 mm

¹Present study. ²Suzuki and Jeon (1989). ³Suzuki and Jeon (1990b).

점에서 차이를 확인할 수 있었다.

지금까지 우리나라에 분포하는 납자루아과 어류의 초기생활사 연구가 지속적으로 진행되고 있으며 이중 *Acheilognathus*속에는 줄납자루(*A. yamatsutae*) (Suzuki and Jeon, 1987; Song and Kwon, 1989), 큰줄납자루(*A. majusculus*) (Kim et al., 2014), 가시납자루(Suzuki and Jeon, 1990b) 등이 연구되었다. 따라서 *Acheilognathus*속 어류인 납자루, 금강의 *Acheilognathus* sp. (Chae et al., 2014), 한강 지류 달천의 *Acheilognathus* sp. HR (Kim et al., 2022) 등 추가적인 초기생활사 연구가 필요할 것으로 보인다.

References

- Balon EK. 1985. Early life histories of fishes: New developmental, ecological and evolutionary perspectives. In: Development in Environmental Biology of Fishes. Springer, Dordrecht, Netherlands, 1-280.
- Baek HM and Song HB. 2005. Egg morphology and early life history of *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae). Korean J Ecol 28, 281-286. <https://doi.org/10.5141/JEFB.2005.28.5.281>.
- Blaxter JHS. 1974. The Early Life History of Fish. Spring-Verlag, Berlin, Germany 1-765.
- Chae BS, Song HB and Park JY. 2019. A Field Guide to the Freshwater Fishes of Korea. LG Evergreen Foundation, Seoul, Korea.
- Chae BS, Kim SK, Lee JH and Hwang UW. 2014. Taxonomic status of *Acheilognathus* sp. (Cyprinidae) found in the Geum River, Korea. Korean J Ichthyol 26, 249-258.
- Chang CH, Fan L, Shao KT, Lin YS, Morosawa T, Kim SM, Koo HY, Kim W, Lee JS, He S, Smith C, Reichard M, Miya M, Sado T, Uehara K, Lavoue S, Chen WJ and Mayden RL. 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. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2014.08.026>.
- Froese R and Pauly D. 2023. World Wide Web Electronic Publication. Retrieved from <http://www.fishbase.org> on Aug 7, 2023.
- Kim CH. 1991. Systematic studies on the bitterlings, genus *Acheilognathus* (Pisces: Cyprinidae) from Korea. Ph. D. Dissertation, Jeonbuk National University, Jeonju, Korea, 73-77.
- Kim CH, Lee WO, Lee JH and Beak JM. 2011. Reproduction study of Korean endemic species *Acheilognathus koreensis*. Korean J Ichthyol 23, 150-157.
- Kim CH, Toshihiro I, Kim MK and Kim WJ. 2012. Development of eggs and early life history of *Acheilognathus macropterus* (Acheilognathinae) from Japan. Korean J Ichthyol 24, 101-109.
- Kim CH, Choi WS, Kim DH and Beak JM. 2014. Egg development and early life history of Korean endemic species, *Acheilognathus majusculus* (Acheilognathinae). Korean J Ichthyol 26, 17-24.
- Kim CH, Kang EJ and Kim JH. 2006. Development of eggs and early life history of Korean bitterling, *Rhodeus pseudosericeus* (Acheilognathinae). Korean J Ichthyol 18, 266-272.
- Kim HS. 2007. Taxonomical study on the *Acheilognathus macropterus* and *A. chankaensis* (Pisces : Cyprinidae) from Korea. M.S. Thesis, Chonbuk National University, Jeonju, Korea, 1-40.
- Kim HS and Kim IS. 2012. Population ecology of deep body bitterling, *Acheilognathus macropterus* (Pisces : Cyprinidae) in the bulgapcheon stream, Korea. Korean J Ichthyol 24, 27-34.
- Kim IS. 1997. Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. Vol. 37. In: Freshwater Fishes. Ministry of Education, Seoul, Korea. Korea, 188-189.
- Kim IS, Choi Y, Lee CL, Lee YJ, Kim BJ and Kim JH. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. Kyo Hak Publishing, Seoul, Korea, 106-112.
- Kim YH, Yun BH, Sung MS and Bang IC. 2022. Taxonomic status of *Acheilognathus* sp. HR (Cypriniformes:Acheilognathinae) found in the Dalcheon River, a tributary of Hangang River, Korea. Korean J Ichthyol 34, 231-243.
- Ko MH and Bang IC. 2014. Spawning character and early life history of the endangered Korean dwarf loach, *Kichulchoia brevifasciata* (Teleostei: Cobitidae). Korean J Ichthyol 26, 89-98.
- Nelson JS, Grande TC and Wilson MVH. 2016. Fishs of the World (Fifth edition). John Wiley and Sons, Hoboken, NJ, U.S.A.
- Oh BS, Choi YU, Ku HD, Kim SC, Jung MM and Park HS. 2010. The effect of water temperature on egg developmental stages of largescale blackfish *Girella punctata* and smallscale blackfish *Girella melanichthys*. Dev Reprod 14, 51-58.
- Park JM, Jeon HB, Jo HI, Cho SJ, Suk HY and Han KH. 2018. Early life history of *Tanakia latimarginata*. Korean J Ichthyol 30, 75-83. <https://doi.org/10.35399/isk.30.2.2>.
- Park JM and Han KH. 2018. Early life history of *Rhodeus* fish (*R. uyekii* and *R. ocellatus*) in the Nakdong River water system. Dev Reprod 22, 39-53. <https://doi.org/10.12717/DR.2018.22.1.039>.
- Shimizu T, Sakai H and Mizuno N. 1998. Embryonic and larval development of a Japanese spinous loach, *Cobitis takatsuensis*. Ichthyol Res 45, 377-384. <https://doi.org/10.1007/BF02725190>.
- Song HB and Kwon OK. 1989. Study on the deposition and developmental characters of *Acheilognathus yamatsutae* Mori (Cyprinidae) from the lake Uiam. Korean J Limnol 22, 51-70.
- Suzuki N and Jeon SR. 1987. Development of the bitterling

- Acheilognathus yamatsutae* (Cyprinidae), with notes on minute tubercles on the skin surface and paryngeal apparatus. Korean J Limnol 20, 229-241.
- Suzuki N and Jeon SR. 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.
- Suzuki N and Jeon SR. 1988b. 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.
- Suzuki N and Jeon SR. 1989. Development of the bitterling, *Acanthorhodeus asmussi* (Cyprinidae) with note on minute tubercles on the skin surface. Korean J Ichthyol 1, 73-82.
- Suzuki N and Jeon SR. 1990a. Development of *Acheilognathus lanceolatus* from Ungchon river, Korea. Korean J Ichthyol 2, 77-87.
- Suzuki N and Jeon SR. 1990b. Development of the bitterling, *Acanthorhodeus* (= *Acheilognathus*) *gracilis* (Cyprinidae), with note on minute tubercles on the skin surface. Korean J Ichthyol 2, 169-181.
- Uchida K. 1939. The fishes of Tyosen (Korea). Part 1. nematognathi and eventognathi. Bull Fish Exp Sta Government-General Tyosen 6, 1-47.