

고유종 칼납자루의 재생산 기초 연구

김치홍* · 이완옥 · 이종하 · 백재민

국립수산과학원 중앙내수면연구소

Reproduction Study of Korean Endemic Species *Acheilognathus koreensis* by Chi Hong Kim*, Wan Ok Lee, Jong Ha Lee and Jae Min Beak (Central Inland Fisheries Research Institute, Cheongpyeong-ri, Cheongpyeong-myeon, Gapyeong-gun, Gyeonggi-do 477-815, Korea)

ABSTRACT In this study we described reproduction study of Korean endemic species, *Acheilognathus koreensis* and three other acheilognathinae species *A. signifer*, *Rhodeus pseudosericeus*, and *R. uyekii*. Morphology of egg shape and larvae just hatched is unique by the species respectively. There is no interrelation factor between size of female and number of spawned eggs per one time. Minimum water temperature for spawning of *A. koreensis* was observed in 13.0°C having low hatching rate with 43.5 percent. The egg of *A. koreensis* began to hatch approximately 79 hours after insemination. As higher as water temperature until 22.0°C hatching elapsed time for developing eggs of *A. koreensis* and three species in this study was shortened. *A. koreensis* was grew up to be a adult enough which can be join to new production for three hundred days after hatching with 52.4 mm in total length. This reproduction study will be applied to preservation of Korean endemic fresh water fishes basically.

Key words : Reproduction study, endemic species, *Acheilognathus koreensis*

서 론

납자루아과(Acheilognathinae)어류는 잉어과(Cyprinidae)에 속하는 소형 담수어로서 중국대륙을 중심으로 시베리아 남부, 한국, 일본, 대만과 북부 베트남 등에 40여종이 분포하고 유럽에도 1종이 분포한다(Arai, 1988; Banarescu, 1990).

우리나라의 납자루아과 어류는 이미 멸종된 것으로 알려진 서호납줄갱이(*Rhodeus hondae*)를 포함하여 2속 14종으로 분류되고 있고, 이들 중 각시붕어, 한강납줄갱, 묵납자루, 칼납자루, 임실납자루, 줄납자루, 큰줄납자루는 우리나라 고유종으로 생명자원으로써 보존 가치가 매우 크다. 특히, 묵납자루와 임실납자루는 멸종위기종 2급에 속하는 민물고기로서 보호받고 있다(김 등, 2005; 환경부, 2006).

1980년대에 납자루아과 어류는 한국의 서남해로 흐르는 하천에 고루 분포하고 있었지만 하천의 개발과 서식 환경의 훼손으로 인해 개체수가 현저히 감소하였고 원 서식처에서 조차 발견하기 힘들 정도가 되었다. 또한 담수산 이매

패에 산란하는 독특한 특성을 가지고 난내 발생과 전기자어 시기를 조개 안에서 보냄으로써 높은 생존율을 유지하도록 진화하였지만 하천 수계의 인위적인 변형과 수질 오염과 같은 불리한 환경이 증가함으로써 담수 이매패의 서식이 불안정화 됨에 따라 오히려 산란 숙주에 의존하는 납자루아과 어류의 초기 생활사는 생존 전략에 불리하게 작용하고 있다. 이러한 이유로 멸종위기에 직면한 본 종들에 대한 보호와 자원 유지를 위해서는 인위적인 증식 방법의 개발과 서식지의 종 보존의 필요성이 절실한 실정이다.

우리나라에 서식하는 납자루아과 어류의 초기 생활사에 대한 연구는 난 발생과 일정 기간 자어의 성장에 따른 형태 변화에 대한 연구와 전기 자어의 포피상 돌기의 형태 변화 등의 종 특성에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다(Suzuki and Hibia, 1984; 金과 朴, 1985; Suzuki and Jeon, 1987, 1988a,b,c, 1991; 鈴木과 田, 1988d, 1989, 1990a,b; 김과 김, 1989; 宋과 權, 1994; 백과 송, 2005a,b; 김 등, 2006). 그러나 납자루아과 어류를 대상으로 사육 조건에 따른 생존과 성장에 관한 시험 연구 결과의 제시는 없었다. 칼납자루는 한반도의 금강, 섬진강, 낙동강, 탐진강 수계에 고루 분

*교신저자: 김치홍 Tel: 82-31-589-5105, Fax: 82-31-589-5130,
E-mail: chkim@nfrdi.go.kr

포하는 종으로 외부 형태적인 특성과 분자계통학적 연구 및 개체군 생태 생활사와 더불어 미세서식처 등이 잘 알려져 있는 종이다(Kim and Kim, 1990; 양, 2004). 따라서 본 연구에서는 칼납자루를 대상으로 채란과 채정, 인공수정과 부화관리 및 자치어의 사육 과정에서 나타나는 물리적인 환경의 변화와 생활사의 관계를 논의하고 납자루아과내의 종들과 그 특징을 비교함으로써 칼납자루의 재생산을 위한 기초 자료를 마련하고자 한다.

재료 및 방법

1. 시험어와 어미의 선별

시험에 사용한 칼납자루는 금강(전북 무주군), 섬진강(전북 임실군), 낙동강(경남 산청군), 탐진강(전남 장흥군) 수계에서, 납자루아과 비교종으로 한강납줄개는 남한강(강원 횡성), 각시붕어는 탐진강(전남 장흥군)에서 2010년 3~5월에 직접 채집하여 실험실로 운반하였고 목납자루는 내수면 양식센터에서 분양받았다. 수계별 종별로 30×45×60 cm 수조에 30마리씩 수용하면서 순치하였고 시판용 배합사료와 생사료를 급여하여 사육하면서 시험에 사용하였다. 산란기에는 채집 수계별 칼납자루의 수컷에 나타난 혼인색의 특징을 관찰 비교하였으며 비교 종들에 대해서도 인공수정 시 채란과 채정을 위해 각각의 수컷은 혼인색이 뚜렷한 개체를 선별하고 암컷은 산란관이 미병부 전후까지 신장한 개체들을 선별하였다.

2. 인공수정과 초기발생

채란은 멸균된 유리 샤레(직경 90 mm)에 여과수를 5 mm 정도 붓고 암컷의 복부를 압박하여 산란관을 통해 난이 배출될 수 있도록 하였다. 수컷의 정액은 채란된 알이 들어있는 샤레에 복부를 압박하여 유백색의 정액이 분출되도록 직접 채취하였고 샤레를 가볍게 흔들어 수정이 가능하도록 하였다. 수정 시 어미의 크기와 채란 시각, 산란량을 기록하였고 알의 크기는 현미경 하에서 장경과 단경의 길이를 측정하였으며 난의 형태와 난 내 발생 과정을 실제 현미경으로 관찰하고 촬영하였다. 개체 별 수정란의 유지 수온과 부화까지 경과 기간을 기록하여 초기 발생 진행 정도를 비교하였고 산란량을 기준으로 수정률을 산정하였고 수정란 수를 기준으로 부화율을 산정하였다.

3. 부화와 부출 시 관리

발생란과 부화 자어는 1일 1회 새 샤레에 수정란을 옮기는 방법으로 사육 수를 교환하였다. 부화 기간의 산정은 발생란 전체의 50%가 부화를 마친 시점을 기준으로 하여 수

온과 관계를 조사하였다. 자어의 상하 운동과 회전 운동이 시작된 후에는 수심이 5 cm되는 소형 수조로 옮기고 3일에 1번 사육수를 교환해 주었다. 부출기 후 첫 먹이는 막 부화한 알테미아 유생을 급여하고 2~3일 후부터는 배합사료 급여하였고 수조의 깊이가 7~8 cm 정도 되도록 유지하였다.

4. 치어 사육 관리

난황이 전부 흡수되고 자유 수영이 확인되면 모래와 섬유를 사용한 저면 여과장치를 설치하였다. 일일 3회씩 배합 사료를 급여한 후 막 부화한 알테미아 유생을 1회 공급하였다. 1주일에 한 번 정도는 전체 수조의 30%의 물을 새 것으로 갈아 주었으며 개체가 성장함에 10리터 수조로 옮겨주었다. 자어와 치어의 성장에 따라 일정 간격을 두고 5 마리씩 전장을 측정하여 연간 성장도를 산출하였다.

결과 및 고찰

1. 어미와 산란 특성

납자루아과 어류의 산란기에 나타나는 화려한 수컷의 혼인색은 종 구분을 위한 주요 특징으로 활용되고 있다. 칼납자루 수컷의 혼인색은 등쪽이 짙은 초록색이고 배 쪽은 담황색을 띠고 있다. 배 쪽의 가장자리에서 미병부로 이어지는 적황색 채색이 나타나며 하부에는 흑색 색소포가 나타난다. 등지느러미와 뒷지느러미의 반문은 적색 바탕에 중앙과 가장자리에 진한 흑색 띠를 보인다(김, 1997). 시험에 사용된 4개 수계의 칼납자루 혼인색을 관찰한 사진은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 수계별로 약간의 차이를 보였다. 금강산은 등쪽은 연록색이고 배쪽으로 이어지면서 담황색이 주를 이루며 등지느러미와 뒷지느러미 가장자리의 흑색띠도 그다지 진하지 않다(Fig. 1, A). 섬진강산은 두부 뒤쪽부터 등지느러미 하단에 이르기까지 암록색이 나타나고 몸 중앙부에는 청록색을 보이고 배쪽으로 갈수록 연황색의 채색을 보인다. 뒷지느러미의 기부와 미병부는 연한 적황색을 띤다(Fig. 1, B). 낙동강산도 섬진강산과 유사한 채색을 보이지만 배쪽과 뒷지느러미기부 그리고 미병부의 붉은색이 더 진하게 나타난다(Fig. 1, C). 탐진강산의 체측 상부는 암록색이 선명하고 아가미 후단에 동공 크기의 청녹색 반점이 뚜렷하고 배쪽의 가장자리에는 흑색 소포가 미병부까지 발달해 있다. 특히 뒷지느러미와 기부, 미병부 하단 2/3는 선홍빛의 채색이 두드러지게 나타나 다른 수계산과 쉽게 구별된다(Fig. 1, D). 산란기와 관계없이 동공이 검정색인 다른 수계에 비해 낙동강산은 은백색 동공을 가지고 있어 주목되었으며 수계별 혼인색의 차이는 생태적 종 분화와 관

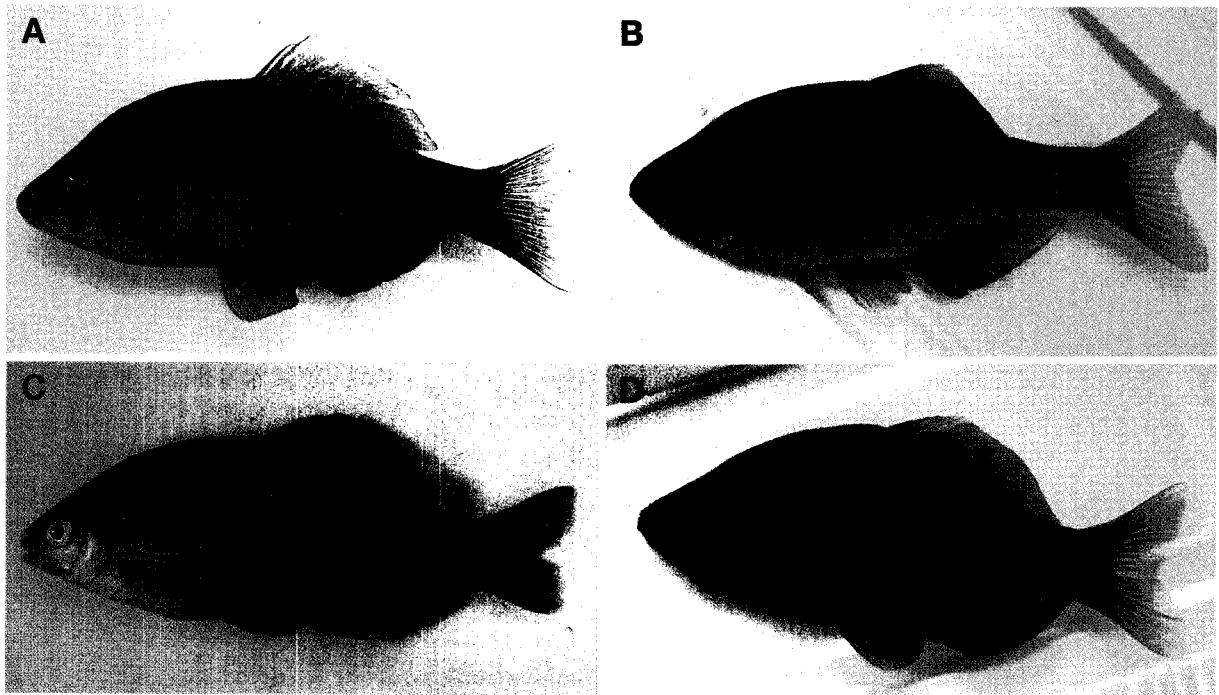


Fig. 1. Male nuptial color of *Acheilognathus koreensis* from different localities. A: Geum river, B: Seomjin river, C: Nagdong river, D: Tamjin river.

련하여 앞으로 연구할 필요가 있다. 산란시기의 서식지에서 채집 직후 상태에 비해 수조에 사육하게되면 혼인색의 색감은 점점 약해진다. 그러나 이들 모두 추성의 변화는 없었고 시간이 지남에 따라 정액의 분출량은 약간 줄었으나 인공수정에 필요한 채정량으로는 부족하지 않았다. 한 번 정액을 채취한 개체는 3~5일이 지나면 재 채취가 가능하였고 3회까지는 재 채정이 확인되었다.

지역별 칼납자루의 외부 형태의 계수 측정치의 비교에서 낙동강산은 타 수역 집단에 비해 미병고가 약간 높고 문장이 짧은 특징을 가지고 있어 분류학적으로 분화 가능성을 제시하고 있어(양, 2004) 본 시험에서는 이러한 오차를 줄이기 위해 동일 집단의 개체들끼리 수정한 결과를 제시하였다. 칼납자루의 인공수정을 위한 시험에 사용한 28개체들 중 채란이 가능한 암컷의 최소 체장은 50.1 mm였고, 비교종으로 목납자루 23개체 중에는 최소 체장이 37.0 mm, 각시붕어 10개체 중에는 최소 체장이 36.3 mm, 한강납줄개는 9개체 중에 27.0 mm로 가장 작았다. 비교 종들은 칼납자루에 비해 소형 종으로 산란 가능한 암컷의 최소 체장도 작았다고 판단되지만 많은 개체가 서식하는 자연에서는 이보다 더 작은 크기에서도 산란이 가능할 수도 있다고 본다. 칼납자루 28마리의 암컷(체장 50.1~66.4 mm)에서 채란한 알의 수는 한 마리당 최저 10개에서 최고 80개로 개체당 1회 평균 46개를 산란하였다. Suzuki and Jeon(1988b)의 금강산은 24~27개, 섬진강산은 13~67개의 결과와 비교하면

Table 1. Number of artificial spawned eggs per individual from four species of Acheilognathinae in this study

Species	Female body length (mm) (mean)	No. of spawned eggs (mean)
<i>Acheilognathus koreensis</i> (n=28)	50.1~66.4 (58.2)	10~80 (46)
<i>Acheilognathus signifer</i> (n=23)	37.0~64.3 (49.3)	10~35 (20)
<i>Rhodeus uyekii</i> (n=10)	36.3~49.1 (43.2)	11~50 (25)
<i>Rhodeus pseudosericeus</i> (n=9)	27.0~60.2 (50.5)	17~47 (29)

칼납자루의 산란량은 개체의 상태에 따라 차이가 많음을 알 수 있다. 목납자루(n=23)는 한 개체당 10~35(평균 20)개, 각시붕어(n=10)는 10~50(평균 25)개가 채란되었고 한강납줄개(n=9)는 17~47(평균 29)개의 알이 적출되어 김 등(2006)의 결과와도 유사하였다(Table 1), 이와 같이 개체당 1회 산란량의 편차가 크게 나타난 결과는 이들 모두가 다른 납자루아과 어류와 같이 간격을 두고 다회 산란하는 종(Suzuki and Jeon, 1987; 양, 2004)임이 확인되었다. 또한 암컷의 개체 크기와 포란량은 서로 상관관계를 나타낸다고 하였으나(양, 2004) 자연에서 채집한 사육한 개체에 대해서는 초산인지 재 산란인지의 식별이 곤란하여 인공 채란한 산란량만 가지고는 칼납자루뿐만 아니라 나머지

3종에서도 암컷의 크기와 비례하여 1회 산란량의 상관관계는 뚜렷하게 나타나지 않았으나 칼납자루는 다른 비교 종에 비해 산란군의 체장 크기가 크고 다수의 난을 산란하였다(Fig. 2).

2. 난의 형태

납자루아과 어류 난의 형태는 *Rhodeus*속의 전구형(bulb like type)과 *Acheilognathus*속의 서양배형(pear type), 방추형(spindly type), 타원형(ovoid type)으로 잠정 구분할 수 있고 그 크기와 미세 형태의 차이는 각 종마다 차이가 있어 분류와 분화 계통 형질로 사용된다. 시험에서 관찰한 칼납자루와 비교 종의 난의 형태와 크기를 다른 납자루아과

종들과 비교하여 Table 2에 나타내었다. 칼납자루 수정란은 세장형의 방추형이며 담황색 난황을 가진 불투명난이다. 형태와 크기 면에서는 수계 개체별 약간의 변이가 있으나 장경과 단경의 길이는 평균 4.35×1.76 mm로 측정치(n=60) 평균은 오차 범위 내에서 김(1991)의 보고와 일치하였다. 시험에 사용된 3종의 수정란 모양은 종마다 독특한 형태를 나타내고 있고 난황의 색깔도 각시붕어의 난황은 유백색이고, 한강납줄개는 담황색, 목납자루는 진황색으로 종마다 차이가 있다. 갓 부화한 전기자어에서 측돌기가 발달하는 것은 *Rhodeus*속의 독특한 형질로 볼 수 있다(Fig. 3). 한강납줄개와 각시붕어의 수정란은 장경과 단경의 길이는 평균

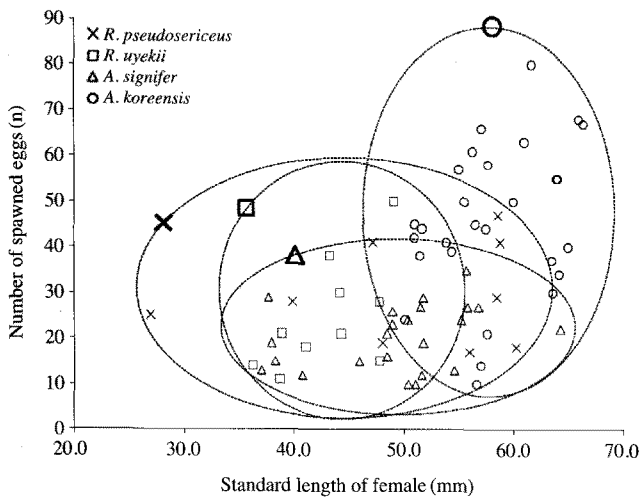


Fig. 2. Comparison of number of artificial spawned eggs in relation to body length of female from four species.

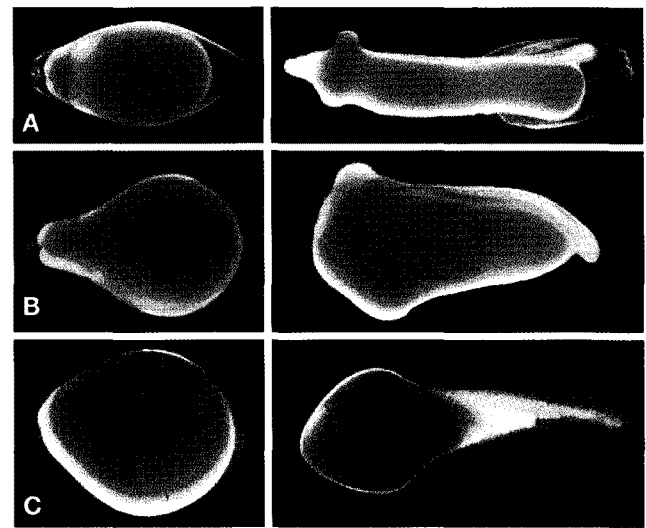


Fig. 3. Morphology of fertilized eggs and just hatched larvae in some Acheilognathinae fishes. A: *Rhodeus uyekii*, B: *R. pseudosericeus* and C: *Acheilognathus signifer*.

Table 2. Comparison of embryological characters in Acheilognathinae fishes by each investigator

Species	Egg type	Egg size, mean (mm)	Authors
<i>Rhodeus ocellatus</i>	Bulb like	2.68 × 1.30	Suzuki and Jeon (1988d)
<i>R. uyekii</i>	Bulb like	3.1 × 1.7	Suzuki <i>et al.</i> (1985)
	Bulb like	3.19 × 1.68	Present study
<i>R. notatus (suigensis)</i>	Bulb like	3.56 × 1.39	Suzuki and Jeon (1988c)
<i>R. pseudosericeus</i>	Bulb like	3.0 × 1.8	Kim <i>et al.</i> (2006)
	Bulb like	3.04 × 1.82	Present study
<i>Acheilognathus signifer</i>	Pear shape	2.26 × 1.74	Suzuki and Jeon (1988a)
	Pear shape	2.20 × 1.81	Present study
<i>A. somjinensis</i>	Pear shape	3.7 × 2.3	Kim (1991)
<i>A. limbata</i> (Japan)	Pear shape	2.85 × 1.55	Suzuki and Jeon (1988b)
<i>A. koreensis</i>	Spindly	4.3 × 1.7	Kim (1991)
	Spindly	4.35 × 1.76	Present study
<i>A. lanceolatus</i>	Spindly	4.58 × 1.49	Suzuki and Jeon (1990a)
<i>A. rhombeus</i>	Ovoid	2.58 × 1.77	Suzuki and Jeon (1991)
<i>A. yamatsutae</i>	Ovoid	1.91 × 1.57	Suzuki and Jeon (1987)
<i>A. chancaensis</i>	Ovoid	2.09 × 1.26	Suzuki and Jeon (1990b)
<i>A. asmussi</i>	Ovoid	1.95 × 1.61	Suzuki and Jeon (1989)

3.04 × 1.82 mm와 3.19 × 1.68 mm로 같은 속인 *Rhodeus ocelatus*나 *R. notatus*와 함께 전구형으로 분류할 수 있고 그 크기는 김 등(2006)과 Suzuki *et al.*(1985)의 보고와 동일하였다. 묵납자루는 *A. somjinensis*나 *A. limbata*와 함께 서양 배의 형태로 장경과 단경의 길이는 평균 2.20 × 1.81 mm로 Suzuki and Jeon(1988a)의 연구 결과와 잘 일치하고 있다.

3. 초기 발생과 자어

어류의 개체 발생은 계통의 특징을 반복적으로 나타내며 초기생활사에 대한 연구는 난의 형태적 생태적 특징과 더불어 배 발생 및 초기 성장과정을 거치면서 나타나는 종의 고유 형질, 발달 특성 등 어종에 대한 많은 정보를 담고 있기 때문에 분류학적, 발생학적, 생태학적으로 유사 종 사이에 근연관계를 연구하는 기초자료가 되며, 이를 토대로 어족 자원의 보존과 보호 및 중요생산을 통한 증식 등에 다각도로 활용할 수 있다. 칼납자루는 금강 이남의 수계 분포하는 한국 고유종으로 기존의 일본산 *A. limbata*와는 발생학적 차이와 생식적인 격리 현상이 밝혀지면서 신종으로 보고된 종이며 근연종인 임실납자루(*A. somjinensis*)와도 초기 생활사적 구분이 뚜렷한 종이다(Kim and Kim, 1990; 양, 2004). 칼납자루의 초기 발생 과정과 자어에 이르기까지의 실체현미경상에서 경시적으로 관찰한 단편적 단계를 Fig. 4에 제시하였고 경과 기간은 Table 3에 나타내었다.

담황색 난황을 가진 수정란은 수정 후 30분이 지나면 난막과 난황이 분리되며 2시간 후에 동물극쪽에 배반이 형성된다(Fig. 4, 1-3). 이후 2 세포기의 난황을 시작으로 8시간이 경과하면 상실기에 이른다(Fig. 4, 4-7). 10시간 후에는 포배가 일어나고 24시간 후에는 낭배가 완성되는 것이 관찰된다(Fig. 4, 8-10). 31시간 이후에는 신경극이 나타나면

서 배체에 근절이 형성되고 부화를 앞둔 꼬리지느러미의 태동을 관찰할 수 있다(Fig. 4, 10-12). 49시간 경과 후에는 식물극쪽으로 알의 껍질을 뚫고 배체가 부화하고 움츠린 꼬리 부분이 퍼져 초기 전기자어가 된다(Fig. 4, 13-14). 전기자어는 난황을 흡수하고 체 성장을 이어가면서 수정 후 22~25일 경에 자연 상태로 보면 산란 숙주인 조개에서 탈출하는 부출기를 맞고 이때부터 외부로부터 먹이를 먹는 타가영양이 시작된다(Fig. 4, 15-17). 부화 후 70일에는 전장 20.4 mm로 성장하면서 비늘과 각 기관의 발생이 완성되고 형태적으로 어미와 유사한 치어가 된다(Fig. 4, 18). 본 종에 대한 발생 단계의 과정과 형태는 김(1991)의 보고와 차이가 없으나 수정 후 49시간 만에 부화하여 부화 시점이 약간 빠르게 나타난 점은 유지 수온이 상대적으로 높았기 때문이라고 사료된다.

Table 3. Time required for embryonic stages and larval stage of *Acheilognathus koreensis* at 21 ± 0.5°C water temperature

Stage	Time after insemination (Hr:min)	Remarks
1~2	:30	Fertilized egg
3	2:00	Blastodisc
4	2:30	Two celled egg
5~6	6:00	Cleavage stage
7	8:00	Morula
8	10:00	Blastula
9~10	24:00	Gastrula
11	31:00	Neurula
12	42:00	Embryo stage
13	49:00	Hatching begins
14	52:00	After hatching
15~16	3~15 days	Prelarvae
17	22~25 days	Heterotrphs larvae
18	70 days	Fingerling

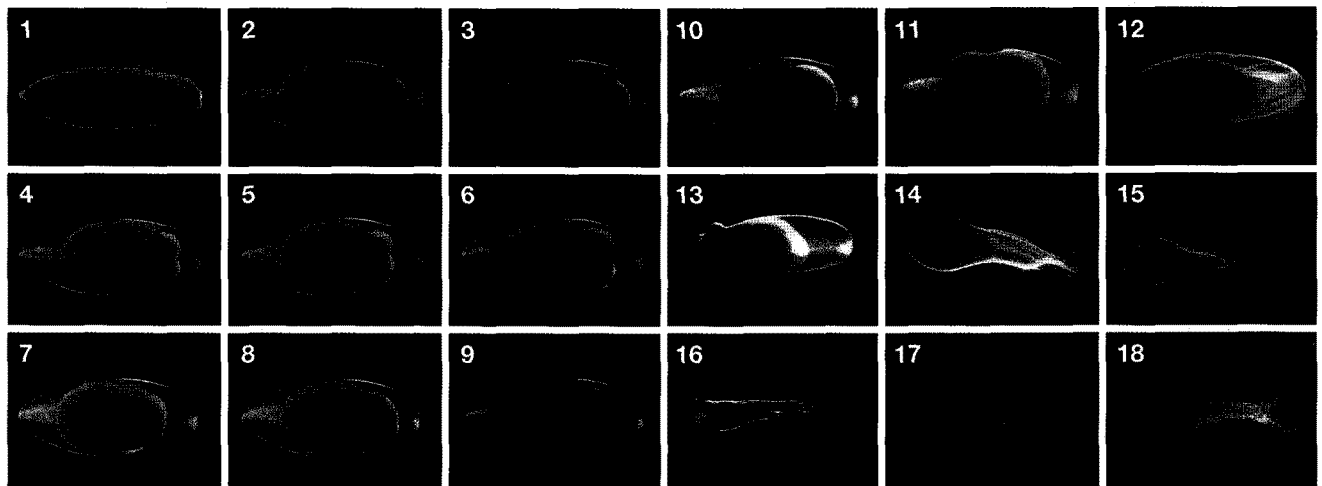


Fig. 4. Egg development and larval stage of *Acheilognathus koreensis* from Geum river, Korea. Time required for each developmental stage is shown in Table 3.

납자루아과 어류의 자어 형태는 부화 자어의 익상돌기의 유무에 따라서도 납줄개속 (Genus *Rhodeus*)과 납자루속 (Genus *Acheilognathus*)으로 구분되고 각각의 종에 따라 독특한 형태를 가진다. 칼납자루 전기자어의 특징은 부화 직후 익상돌기는 나타나지 않으나 머리부터 미병부에 이르기 까지 미세 표피상돌기 (minute tubercle)가 발달하게 되고 부화 후 8일째 최고를 이루다가 난황이 완전히 소모되는 부출기에 이르면 소멸된다. 이는 난 발생 기간과 전기자어 시기를 조개 안에서 퇴출되지 않도록 생존해야 하는 생활사 습성과 관련이 있다고 본다. 납자루속인 목납자루는 부화 직후 익상돌기는 나타나지 않고 두부 앞쪽까지 둥근형태의 난황이 발달되어 있으며 난황 표면에 표피상돌기가 뚜렷이 관찰된다. 부화 후 3일 후부터 눈과 머리가 발달하면서 난황은 척추 아래쪽으로 축소되어 점차 흡수되어진다. 이 시기에 발달한 표피상돌기가 부화 후 20일 경에는 완전히 소멸되어지는 것으로 알려져 있다 (Suzuki and Jeon, 1988a). 납줄개속인 각시붕어의 부화 직후 전기자어는 난황의 전돌기가 아래쪽으로 구부러져 돌출되어있고 측면에 좌우 대칭형의 익상돌기가 발달해 있다. 부화 후 4일 경이면 눈과 머리가 발달하면서 소멸되고 난황은 몸 아래쪽으로 축소된다. 한강납줄개는 전돌기의 발달은 미약하지만 익상돌기와 난황은 각시붕어에 비해 둥글고 몽툭한 모습을 보이며 부화 후 10일 정도가 지나서 익상돌기가 축소된다. 종간 속간의 부화 자어의 형태적인 차이는 담수조개에 산란하는 산란 특성 등 생태 생활사와 관련이 있다고 보며 납자루아과 어류의 계통 분류 연구에 대한 흥미 있는 형질로 추후 이와 관련된 연구가 필요하다.

4. 수온과 발생

칼납자루를 대상으로 13°C 유지 수온에서부터 2°C 간격으로 21°C까지 각 수온 별 5개의 시험구를 대상으로 인공 수정란을 사용하여 수정율과 부화율, 부화에 도달하는 시간을 조사하였다. 수정률은 15.0°C에서 75.0%로 가장 낮았으나 어미의 상태에 따라 미숙란이 일부 산란된 경우였고 이외에는 전체적으로 높은 수정율을 보여 유지수온이 미치는 영향은 적었다. 부화율은 다른 시험구에 비해 13.0°C에서는 43.5%로 현저히 낮게 나타났고 15.0°C 이상의 수온에서는 부화율에 영향을 주지 않았다 (Table 4).

수정 후부터 부화 시까지의 경과 시간은 수온 13°C에서는 128.8 (±5.8)시간, 15°C는 118.8 (±4.5)시간, 17°C는 87.0 (±2.6)시간, 19°C는 65.0 (±2.2)시간, 그리고 21°C는 49.3 (±0.6)시간으로 나타났다 (Fig. 5). 수정란은 낮은 수온을 유지했을 때에 비해 21°C까지 높은 수온을 유지했을 때까 지 초기 발생의 진행 정도는 점차 빨라져 부화에 도달하는 시간은 짧아지는 경향을 보였다. 수온이 높은 시험구로 갈수록 시험구별 개체의 발생 진행 속도의 편차는 점차 줄어

Table 4. Comparison of insemination and hatching rate of eggs spawned from *Acheilognathus koreensis* in different water temperature

Water temperature	Number of eggs	Insemination rate %	Hatching rate %
13.0°C	47	82.9	43.5
15.0°C	64	75.0	94.6
17.0°C	58	87.6	90.0
19.0°C	81	93.8	90.7
21.0°C	86	93.0	96.2

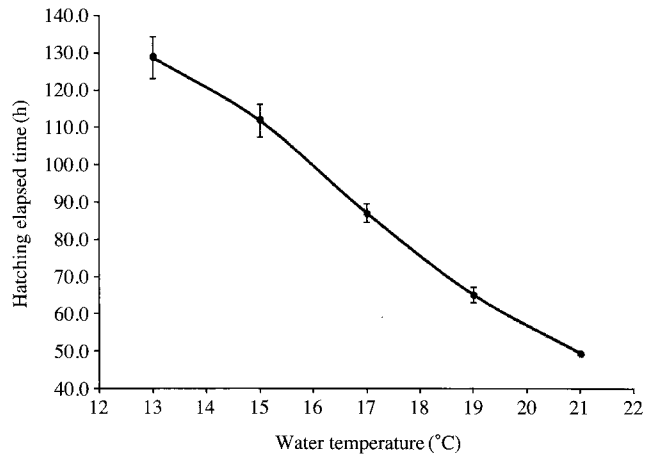


Fig. 5. Hatching elapsed time curve of *Acheilognathus koreensis* developing eggs in each water temperature condition.

들었고 21°C에서는 개체 간 편차가 현저히 줄어 안정된 환경 조건에 도달되었다고 판단된다. 자연 상태의 생존률 향상을 위해 산란 최적기를 선택하는 것은 적정 수온과 밀접한 관계가 있다고 보며 이는 납자루아과 어류들이 자연 서식지의 수온이 20°C 전후인 4~6월에 주 산란기를 택하는 점과 관련이 있다고 본다.

칼납자루와 비교하여 한강납줄개의 경우는 실내 수조에서 산란과 수정이 가능한 최저 수온은 12.4°C였고 부화까지는 141.5시간이 소요되었다. 수온 17°C에서 72시간, 22.0°C에서는 61시간 만에 부화하였다. 각시붕어도 부화까지 경과시간은 18.0°C에서 67.5시간, 20.0°C에서 48.0시간, 22.0°C에서 45.5시간으로 유지 수온이 높을수록 부화에 도달하는 시간이 빨랐다. 목납자루의 산란 최저 수온은 15.5°C였고 이때 부화까지는 114.5시간이 소요되었고 수온 20.0°C에서는 58시간, 22.0°C에서는 54시간 만에 부화하여 목납자루도 수온이 상승할수록 부화까지 경과 시간은 짧게 나타났다. 시험에 사용된 납자루아과 비교 종들은 수정란의 부화율 비교 결과 낮은 수온 보다는 22.0°C까지 높은 수온을 유지했을 때가 부화율이 상대적으로 높게 나타났다 (Table 5). 칼납자루와는 다르게 산란이 가능한 최저 수온이 한강납줄개와 목납자루가 비교적 낮은 수온에서도 부화율이 현저히 낮지 않은 이유는 다른 납자루아과 어류에 비해 두 종의 주 서식처가

Table 5. Comparison of hatching elapsed time and hatching rate of Acheilognathinae three species in different water temperature

Species	Water temperature	Hatching elapsed time	Hatching rate %
<i>Rhodeus pseudosericeus</i>	12.4°C	141.5 hours	76.4
	17.0°C	72.0 hours	92.6
	22.0°C	61.0 hours	97.0
<i>Rhodeus uyekii</i>	18.0°C	67.5 hours	88.7
	20.0°C	48.0 hours	90.8
	22.0°C	45.5 hours	95.0
<i>Acheilognathus signifer</i>	15.5°C	114.5 hours	73.3
	20.0°C	58.0 hours	89.6
	22.0°C	54.0 hours	96.0

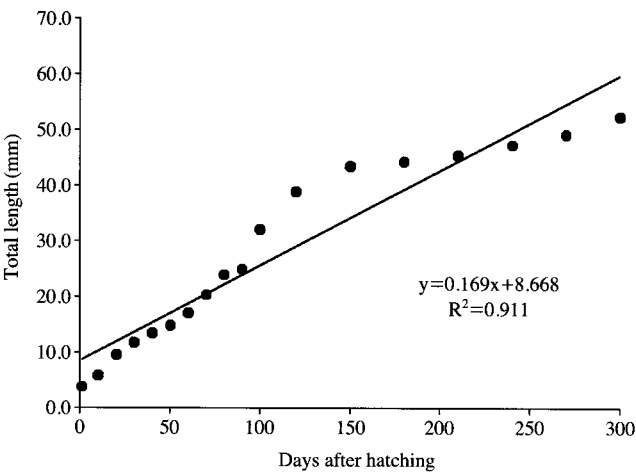


Fig. 6. Growth curve pattern of *Acheilognathus koreensis* larvae after hatching.

수온이 낮은 강의 상류에 형성되고 있고 자연 상태에서 한강납줄개는 3월말, 목납자루는 4월 초부터 산란이 확인되는 점과 일치하는 결과라고 사료된다.

5. 성장도

칼납자루의 연간 성장도를 알아보기 위해 수조에서 키우면서 부화 후 100일까지는 10일 간격으로 그 이후로는 30일 간격으로 자치어의 전장을 측정하였다. 부화 후 30일에 11.9 mm, 50일에 14.9 mm, 100일에는 32.1 mm로 성장하였으며 150일에 43.5 mm, 210일에는 45.4 mm, 300일 경에는 52.4 mm까지 성장하였다. 성장이 빠른 시기는 초기 사료에 적응하게 되는 부화 후 30일경과 100일에서 150일 사이가 성장도가 높았고 그 이후 300일까지는 완만한 성장 추세를 보였다 (Fig. 6). 성장이 빠른 시기는 계절적으로 여름철 7~8월의 30°C 내외를 유지하는 실내 수조의 수온 상승시기와 관련이 있었고 이후 수온이 낮아짐에 따라 성장 속도도 둔화되는 경향을 보였다. 납자루아과의 다른 종들에 대

해서도 초기 발생 특징과 부출기까지의 개체 성장의 보고는 있으나 실내 사육한 납자루류에 대한 연중 성장도의 대한 연구 보고는 아직 미약하여 비교할 수 없었다. 자연 서식처에서 본 종은 1년에 30~50 mm, 2년에 60~70 mm, 3년에 80 mm 정도로 성장한다고 알려져 있어 (김, 1997) 실내 수조에서 300일 만에 52.4 mm로 성장한 결과와 비교하면 약 10개월 만에 자연 상태의 치어 성장보다 빨랐음을 알 수 있다. 또한 본 시험에서 관찰한 바와 같이 산란을 할 수 있는 최소 암컷의 체장이 50.1 mm인 것을 감안한다면 (Table 1) 만 1년이 지난 후에는 재생산에 참여할 수 있는 어미로 충분히 성장하게 된다는 것을 알 수 있다.

납자루아과 어종들은 소형 담수어로 담수산 이매패에 산란하는 독특한 습성과 아름다운 채색을 지니고 있어 관상 어로도 인기가 증대되고 있다. 우리나라에 서식하는 납자루아과 어류 14종 중 7종이 고유종으로 고유화 빈도가 50%에 이르고 있어 한반도에 분포하는 담수어의 종 분화 연구를 위한 소중한 자료가 될 수 있다 (강 등, 2006). 대부분의 종들이 유육이 완만하고 수초가 있는 소형 하천과 저수지에 서식하고 있지만 최근 하천 개발의 확대와 물리 화학적 오염원의 증가는 생존에 대한 위협을 빠르게 확산시키고 있다. 멸종위기에 처한 야생동·식물로 지정된 목납자루와 임실납자루는 물론 본 시험 연구에서 수행한 칼납자루를 비롯하여, 각시붕어, 한강납줄개, 목납자루 등 고유종 납자루류에 대한 종 보존에 대한 기초 생활사 연구와 재생산 과정 기술의 정보 축적은 국가적 생물자원의 주권확보 차원에서도 매우 귀중한 가치가 있으며 앞으로 더 많은 연구가 지속되어야 한다고 사료된다.

요 약

칼납자루를 중심으로 납자루아과 고유종 각시붕어, 한강납줄개, 목납자루의 재생산을 위한 기초 연구를 하였다. 난의 형태와 부화 자어는 종별로 독특하였으며 암컷의 크기와 1회 산란량의 상관관계는 뚜렷하게 나타나지 않았다. 칼납자루 13.0°C에서도 산란이 가능하였으나 수정란의 부화율은 43.5%로 낮았으며, 수온 21.0°C에서 79시간 만에 부화하였고 다른 비교 종들과 같이 수온이 높을수록 부화에 이르는 시간은 단축되었다. 칼납자루는 부화 후 자어시기를 거쳐 300일 만에 52.4 mm로 성장하여 재생산에 참여할 어미가 되기에 충분하였다. 납자루아과 어류의 재생산 연구는 고유 담수어 보존 연구의 기초자료로 활용될 것이다.

사 사

본 연구는 국립수산물품질관리원 중앙내수면연구소 담수생물

서식지의 보존 연구(간행물번호 RP2011-AQ-038)의 지원으로 수행되었습니다.

인용 문헌

- 강언중 · 김치홍 · 박인석 · 양 현 · 조용철. 2006. 각시붕어 (*Rhodeus uyekii*)와 떡납줄갱이 (*R. notatus*) (Pisces: Cyprinidae) 잡종의 초기발생 특징. 한국어류학회지, 18: 339-346.
- 김익수. 1997. 한국동식물도감. 제37권 동물편 (담수어류). 교육부, pp. 160-161.
- 김익수 · 김치홍. 1989. 한국산 잉어과 어류 칼납자루 (*Acheilognathus limbata*)와 묵납자루 (*A. signifer*)의 초기발생과 분류에 관한 연구. 한국동물학회지, 32: 22-33.
- 김익수 · 최 윤 · 이충렬 · 이용주 · 김병직 · 김지현. 2005. 원색 한국어류대도감. 교학사, 615pp.
- 김치홍. 1991. 한국산 납자루속 어류의 계통분류학적 연구. 전북대학교 대학원 박사학위논문, 132pp.
- 김치홍 · 강언중 · 김종화. 2006. 한강납줄갱이, *Rhodeus pseudosericeus* (Acheilognathinae)의 난 발생과 초기생활사. 한국어류학회지, 18: 266-272.
- 백현민 · 송호복. 2005a. 묵납자루, *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae; Acheilognathinae)의 패 내 산란과 적응전략. 한국어류학회지, 17: 105-111.
- 백현민 · 송호복. 2005b. 묵납자루, *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae; Acheilognathinae)의 난 형태와 초기 생활사. 한국생태학회지, 28: 281-286.
- 양 현. 2004. 칼납자루 *Acheilognathus koreensis*와 임실납자루 *A. somjinensis*의 생태와 종 분화. 전북대학교 대학원 박사학위 논문, 100pp.
- 환경부. 2006. 2006~2015 멸종위기야생동·식물 증식·복원 종합계획. 정부행정간행물등록번호 11-1480000-000799-01, 183pp.
- Arai, R. 1988. Fish systematics and cladistics. In: Ueno, T. and M. Okiyama (eds.), Ichthyology Currents 1988, Tokyo, Asakura-shoten., pp. 4-33.
- Banarescu, P. 1990. Zoogeography of fresh waters, vol. 1: General distribution and dispersal of freshwater animals. Aula-Velag, Wiesbaden, pp. 71-94.
- Kim, I.S. and C.H. Kim. 1990. A new Acheilognathine fish, *Acheilognathus koreensis* (Pisces: Cyprinidae) from Korea. Korean J. Ichthyol., 2: 47-52.
- 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.
- Suzuki, N. and S.R. Jeon. 1988a. Development of the bitterling, *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae), with note on minute tubercles on the skin surface. Korean J. Lim., 21: 165-179.
- Suzuki, N. and S.R. Jeon. 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 S.R. Jeon. 1988c. Development of the bitterling, *Acheilognathus suigensis* (Cyprinidae) from Korea, with note on minute tubercles on the skin surface. Korean J. Lim., 21: 231-242.
- Suzuki, N. and S.R. Jeon. 1991. Development of the bitterling, *Acanthorhodeus rhombeus* (Cyprinidae), from Korea. J. Basic Sci., Sang Myung Women's University, 5: 53-62.
- Suzuki, N. and T. Hibia. 1984. Development of eggs and larvae of two bitterlings, *Rhodeus atremius* and *R. suigensis* (Cyprinidae). Japanese J. Ichthyol., 31: 287-296.
- Suzuki, N., N. Akiyama and T. Hibia. 1985. Development of the bitterling *Rhodeus uyekii* (Cyprinidae), with a note on minute tubercles on the skin surface. Japanese J. Ichthyol., 32: 28-34.
- 金容億 · 朴洋成. 1985. 흰줄납줄갱이의 卵發生과 孵化仔魚. 한국수산학회지, 18: 586-593.
- 鈴木伸洋 · 田祥麟. 1988d. 安城川産 흰줄납줄갱이의 卵發生과 仔魚의 發育 및 仔魚의 表皮上突起에 關하여. 한국육수학회지, 21: 1-15.
- 鈴木伸洋 · 田祥麟. 1989. 큰납지리의 卵發生과 仔魚의 發育 및 仔魚의 表皮上突起. 한국어류학회지, 1: 73-82.
- 鈴木伸洋 · 田祥麟. 1990a. 熊川川 水系産 납자루의 個體發生. 한국어류학회지, 2: 77-87.
- 鈴木伸洋 · 田祥麟. 1990b. 가시납지리의 卵發生과 仔魚의 發育 및 仔魚의 表皮上突起. 한국어류학회지, 2: 169-181.
- 宋鎬復 · 權伍吉. 1994. 衣岩湖에 棲息하는 줄납자루 (*Acheilognathus yamatustae* Mori)의 産卵 및 發生 特性에 關한 研究. 한국육수학회지, 22: 51-70.