

서해안 대호만에 서식하는 빙어 *Hypomesus nipponensis*의 난발생 및 자치어 형태발달

박재민 · 유동재¹ · 유정남² · 임성울³ · 김달영³ · 한경호^{4,*}

경상북도 토속어류산업화센터, ¹경상북도 수산자원연구원, ²국립낙동강생물자원관,
³경기도해양수산자원연구소, ⁴전남대학교 수산과학과

Development of Eggs, Larvae and Juveniles of the *Hypomesus nipponensis* (Pisces:Osmeridae) from Western Coastal, Daeho-man by Jae-Min Park, Dong-Jae Yoo¹, Jeong-Nam Yu², Seong-Ryul Lim³, Dal-Young Kim³ and Kyeong-Ho Han^{4,*} (Gyeongsangbuk-Do Native Fish Business Center, Uiseong 37366, Republic Korea; ¹Gyeongsangbuk-Do Fisheries Resources Institute, Yeongdeok 36405, Republic Korea; ²Nakdonggang National Institute of Biological Resources, Freshwater Biodiversity Research Bureau, Sangju 37242, Republic Korea; ³Gyeonggi-Do Province Maritime and Fisheries Research Institute, Ansan 15651, Republic Korea; ⁴Fishery Science Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic Korea)

ABSTRACT In this study, the characteristics of the early life history were investigated for the *Hypomesus nipponensis* in the west coast Daeho Bay. Egg's were adhesive eggs that had the property of sinking in water in a circular shape. The size of mature eggs was 0.52~0.66 (average of 0.59 ± 0.03 , $n=30$) mm. The hatching time took 140 hours at a water temperature of 22~23°C. Immediately after hatching, the yolk sac larvae was 4.78~5.60 (average of 5.25 ± 0.26 , $n=30$) mm in total length, and the mouth and anus were not completely opened. On the 7 days after hatching, the preflexion larvae was 5.91~6.64 (6.32 ± 0.21) mm in total length, and the mouth and anus were opened, and feeding activities were started. On the 25 days after hatching, the flexion larvae was 9.70~12.3 (10.2 ± 0.63) mm in total length, and the end of the spine at the tail end began to bend upward. On the 42 days after hatching, the postflexion larvae was 14.1~18.8 (16.9 ± 1.44) mm in total length, and the end of the spine at the tail was completely bent at 45°. On the 56 days after hatching, it reached the integer with 10 dorsal fins, 16 anal fins, 7 ventral fins, and 19 caudal fins. According to the study, there were spot-shaped melanophore vesicles under the pectoral fins during the incubation period, the different positions of the egg yolk compared to the battlefield, the deposition of melanophore vesicles on the back and under the body of the caudal part during the postflexion larvae period, and the absence of melanophore vesicles on the torso between the head and the starting point of the dorsal fin. It was distinguished from related species in that melanophore vesicles were deposited in one row from the back of the body to the caudal part during the juvenile period.

Key words: Egg development, *Hypomesus nipponensis*, juvenile, larva, Osmeridae

서 론

담수어류의 초기생활사 연구는 산란지 선택, 난발생, 자어

기, 치어기, 미성어기 과정 등을 거치면서 종 특성에 따른 고 유형질이 다양하게 나타난다 (Park *et al.*, 2005). 또한 이러한 연구는 종의 특징을 구명하고 유사종과의 계통 및 분류학적 유연관계를 연구하며, 인공증식 기술확립과 어족자원의 이용 및 보존방안 연구에도 활용하고 있다 (ME, 2009; Song *et al.*, 2009; Ko and Won, 2015).

빙어(*Hypomesus nipponensis*)는 1936년부터 함경북도 용흥

저자 직위: 박재민 (연구사), 유동재 (연구사), 유정남 (책임연구원),
임성울 (연구관), 김달영 (연구사), 한경호 (교수)
*Corresponding author: Kyeong-Ho Han Tel: 82-61-659-7163,
Fax: 82-61-659-7169, E-mail: aqua05@jnu.ac.kr

강 하구에서 채집한 빙어의 알을 내륙지역으로 이식하여 지금까지 국내에 분포하게 된 것으로 알려졌다(Okada, 1961). 우리나라에 분포하고 있는 바다빙어목(Osmeriformes) 바다빙어과(Osmeridae) 어류는 총 9속 12종으로 그중 빙어속(*Hypomesus*) 어류는 빙어, 날빙어(*H. japonicus*) 2종이 보고되었다(Kim *et al.*, 2005; NIBR, 2022). 국외에는 러시아, 일본의 혼슈우 이북, 알류우산 열도에서 사할린까지의 근해 하천, 호수 등 주로 하천 부근의 바다에 서식하는 것으로 알려져 있다(Han *et al.*, 1996; Chae *et al.*, 2019). 빙어는 겨울철 내수면 어업인들의 중요한 소득원으로서 식재료, 얼음낚시 등 다양한 용도로 활용되고 있다. 그러나 최근 빙어 자원량은 감소하고 있는 추세이며, 향후 자세한 연구와 조사가 필요한 실정이다. 빙어에 대한 연구로는 산란환경(Ryu, 1974), 육봉형 개체를 대상으로 한 지리적 형태변이(Ryu and Lee, 1981), 난발생과 자어 형태발달(Han *et al.*, 1996), 초기발달(Torao, 2000), 분류학적 재검토(Youn *et al.*, 1999) 및 육봉형과 소하성 개체군의 생태적 특성(Byeon, 2010) 등이 이루어졌다. 빙어의 초기생 활사 연구는 Han *et al.*(1996)에 의해 영덕군 오십천과 밀양시 밀양강에 서식하는 개체를 대상으로 난발생 과정과 자어 형태 발달 과정 일부를 보고한 바 있으나 형태적 특징 변화가 다양하게 나타나는 후기자어 이후부터 치어기까지 전체 과정에 대한 자료가 부족하다. 따라서 이 연구에서는 서해안 대호만에 서식하는 빙어를 대상으로 난발생 과정 및 자치어 형태발달을 관찰하여 초기생활사를 규명하고 근연종과 특징을 비교하였다.

재료 및 방법

1. 어미확보

연구에 사용된 빙어 어미는 충청남도 당진시에 위치한 대호 방조제에서 삼각망을 이용해 포획하였으며(Fig. 1), 활어수조 차량을 이용해 연구실로 운반하였다. 인공수정에 앞서 어미는 복부가 팽만한 암컷과 정액 유무가 확인된 수컷을 선별하였다. 수컷의 크기는 전장 12.0~12.5 cm(평균 12.3±0.21 cm, n=10), 암컷의 크기는 전장 11.5~12.0 cm(평균 11.7±0.20 cm, n=10)였다.

2. 채란 및 수정

채란은 마른 용기에 복부를 압박하여 채란하였고, 정액은 멸균 생리식염수(NaCl, 0.9%)가 담긴 용기에 채정하여 알과 혼합 후 습식법으로 인공수정하였다. 수정란은 바다에 차광막이 깔린 원형수조(지름 6 m)에 골고루 뿌려 주었고, 산소공급을 위해 에어레이션을 해주었으며, 유수식으로 관리하였다. 개



Fig. 1. Map showing of sample area in Daecho tide embankment Chungcheongnam-Do, Dangjin-si.

끗한 수질관리를 위해 자연 하천수를 수조 내 공급해주었고, 수온은 10.5~11.6°C(평균 11.0±0.5°C) 범위였다.

3. 난발생 및 자치어 형태발달

난발생 관찰을 위해 수정란 100개를 선택해 실체현미경(JP SMZ800, Nikon, Tokyo, Japan)으로 난 크기를 0.01 mm까지 측정하였고, 현미경에 부착된 촬영 장치로 발생단계를 수정 후부터 30분 간격으로 사진 촬영하였으며, 실험실 내에서 난 발생 과정 중 수온 범위는 22~23°C(평균 22.5±1°C)였다. 자치어의 먹이는 난황 흡수가 완료된 이후부터 담수산 로티퍼(*Brachionus calyciflorus*)를 mL당 5~10개체가 유지되도록 공급하였다. 부화 후 36일째부터는 알테미아 부화 유생(*Artemia* sp. nauplius)을 mL당 2~3개체 정도 공급하였으며, 치어기 이후부터 초기 미립자 사료(Lovelarva, Japan)를 혼합 공급하였다. 자치어 형태발달은 실체현미경으로 크기를 0.01 mm까지 측정하였고, 1~5일 간격으로 사진촬영 및 관찰하였다. 자치어 발달단계는 Ji *et al.*(2020)에 따랐다.

결 과

1. 산란량 및 난의 특징

빙어 암컷의 산란량은 9,600~19,200개(평균 14,400개)였다. 난 형태는 원형으로 성숙란은 노란색을 띠었고, 수정 후 투명하게 변화하였다. 난황에는 다수의 유구가 있었고, 난의 표면은 점착성을 가졌으며, 물에 가라앉는 성질을 가진 침성란이었다. 성숙란의 크기는 0.52~0.66(평균 0.59±0.03, n=30) mm였다.

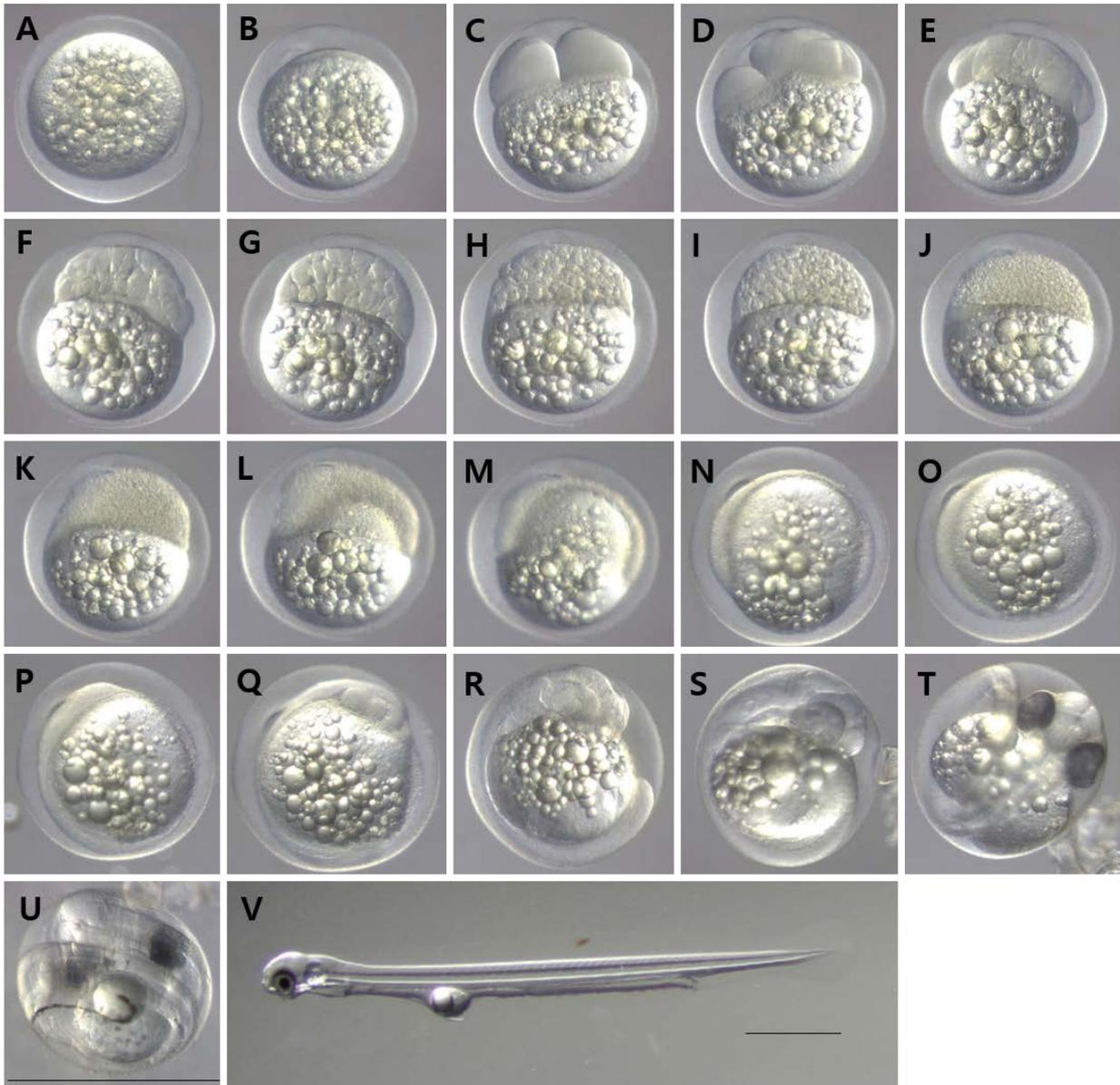


Fig. 2. Egg development of *Hypomesus nipponensis*. A: Fertilized egg; B: Blastodisc, 30 min; C: 2 cell stage, 1 hrs; D: 4 cell stage, 1 hr 30 mins; E: 8 cell stage, 2 hr 30 mins; F: 16 cell stage, 3 hr 30 mins; G: 32 cell stage, 5 hrs; H: 64 cell stage, 6 hrs; I: 128 cells stage, 7 hrs; J: Morula (256 cells) stage, 8 hrs; K: Blastula stage, 10 hr 30 mins; L: Gastrula stage 38.4%, 16 hrs; M: Middle gastrula stage 66.6%, 18 hr 30 mins; N: Late gastrula stage 76.9%, 20 hrs; O: Blastopore close, 22 hr 30 mins; P: Development of embryo, 25 hr 30 mins; Q: Development of otocyst, 29 hr 30 mins; R: Formation of Kuffer's vesicle, 42 hr 30 mins; S: Heart beating, 61 hrs; T: Development of long tail, 75 hr 30 mins; U: Formation of melanophore in tail and yolk, 133 hr 30 mins; V: Hatching start, 140 hrs. Scale bars = 1.00 mm.

2. 난발생 과정

수정 직후의 난은 물을 흡수하면서 난황과 난막이 분리되었고(Fig. 2A), 수정란의 크기는 0.75~0.84 (평균 0.79±0.03, n=30) mm였다. 수정 후 30분에는 배반이 형성되었고(Fig. 2B), 수정 후 1시간에는 배반이 같은 크기로 두갈래 나누어 지면서 2세포기에 달하였으며(Fig. 2C), 수정 후 1시간 30분

에는 같은 형태로 세포의 분열이 진행되면서 4세포기에 달하였다(Fig. 2D). 수정 후 2시간 30분에는 8세포기에 달하였고(Fig. 2E), 수정 후 3시간 30분에는 16세포기에 달하였으며(Fig. 2F), 수정 후 5시간에는 세포의 분열 수가 증가하면서 32세포기에 달하였다(Fig. 2G). 수정 후 6시간에는 64세포기에 달하였고(Fig. 2H), 수정 후 7시간에는 128세포기에 달하였다(Fig. 2I). 수정 후 8시간에는 상실기(256세포기)에 달하였

고(Fig. 2J), 수정 후 10시간 30분에는 포배기에 달하였다(Fig. 2K). 수정 후 16시간에는 배반이 난황의 38.4%를 덮어 내려 오면서 초기 낭배기에 달하였다(Fig. 2L). 수정 후 18시간 30분에는 난황의 66.6%를 덮어 내려와 중기 낭배기에 달하였고(Fig. 2M), 수정 후 20시간에는 난황의 76.9%를 덮어 내려 오면서 말기 낭배기에 달하였다(Fig. 2N). 수정 후 22시간 30분에는 배반이 난황을 완전히 함입하여 원구가 폐쇄되었다(Fig. 2O). 수정 후 25시간 30분에는 배체가 형성되었고(Fig. 2P), 수정 후 29시간 30분에는 머리부분에 안포가 발달하였으며(Fig. 2Q), 수정 후 42시간 30분에는 꼬리의 끝에 Kuffer's vesicle이 형성되었다(Fig. 2R). 수정 후 61시간에는 Kuffer's vesicle이 소실되었고, 배체가 움직이기 시작하였다. 두부에는 이포가 형성되었고, 눈에는 흑색소포가 침착하였다. 이 시기에는 심장이 발달하면서 1분간 심장박동 수는 44~47회 정도였다(Fig. 2S). 수정 후 75시간 30분에는 꼬리가 길게 발달하여 머리 뒷부분을 넘어섰으며, 눈에 침착하였던 흑색소포는 더욱 짙어졌다(Fig. 2T). 수정 후 133시간 30분에는 미병부와 난황 위쪽에 흑색소포가 침착하였고, 난황에 있었던 다수의 유구는 점차 흡수되었다. 꼬리의 길이는 머리를 지나 몸통 중반부까지 휘어 감아져 있었다(Fig. 2U). 수정 후 140시간에는 머리부터 난막을 뚫고 나오면서 부화가 시작되었고(Fig. 2V), 수정 후 164시간에는 전체 수정란의 50%가 부화 완료되었으며, 수정 후 176시간에는 모든 개체의 부화가 완료되었다.

3. 자치어 형태발달

1) 난황자치어(Yolk-sac larva)

부화 직후의 난황자치어는 전장 4.78~5.60(평균 5.25±0.26, n=30)mm로 입과 항문은 완전히 열리지 않았고, 복부에는 난황과 유구를 갖고 있었다. 머리 뒤쪽 양옆에는 막으로 된 한쌍의 가슴지느러미가 발달하였고, 그 아래에는 반점모양의 흑색소포가 침착하였다. 흑색소포는 난황 아래쪽 복부를 따라 항문을 지나 미병부까지 이어져 있었다. 막지느러미는 머리 뒤 등 쪽에서 시작하여 꼬리를 지나 항문에서 분리되었으며, 다시 항문에서부터 난황 아래쪽 복부 중앙 부분까지 발달하였다. 자어의 움직임은 정지 상태를 유지하다 꼬리를 좌우로 굽히며 움직이기를 반복하였다. 이 시기 항문 길이는 전장 대비 73.8%를 차지하였다(Fig. 3A).

부화 후 3일째 난황자치어는 전장 5.44~6.30(평균 5.92±0.27, n=30)mm로 복부에 있던 난황의 크기는 대부분 흡수되었고, 유구는 1개만 관찰되었다. 복부에서부터 항문까지는 일직선 형태의 소화관이 발달하였고, 막으로 된 꼬리지느러미는 부채꼴로 발달하였다. 자어의 움직임은 정지 상태를 유지하지 않고 S자 형태로 계속 유행하였다(Fig. 3B).

2) 전기자치어(Preflexion larvae)

부화 후 7일째 전기자치어는 전장 5.91~6.64(평균 6.32±0.21, n=30)mm로 난황과 유구가 완전히 흡수되면서 입과 항문이 열렸고 먹이활동을 시작하면서 전기자치어로 이행하였다. 흑색소포는 소화관 위쪽에 새롭게 침착하였고, 항문 위쪽에는 큰 반점 형태로 발달하였다. 이 시기의 항문 길이는 전장 대비 81.1%를 차지하였다(Fig. 3C).

부화 후 15일째 전기자치어는 전장 7.03~8.13(평균 7.64±0.33, n=30)mm로 주둥이 끝부분이 뾰족하게 발달하였고, 꼬리 끝부분의 아래쪽에는 미세한 지느러미 줄기가 발달하기 시작하였으며, 줄기 윗부분에는 흑색소포가 침착하였다(Fig. 3D).

부화 후 21일째 전기자치어는 전장 7.60~9.96(평균 8.72±0.95, n=30)mm로 머리 부분의 가슴지느러미 앞쪽 아랫부분에 흑색소포가 새롭게 침착하였고, 소화관 위쪽과 복부 아래쪽에 이어져 침착되어 있던 흑색소포는 여러 개의 반점 형태로 발달하였다(Fig. 3E).

3) 중기자치어(Flexion larvae)

부화 후 25일째 중기자치어는 전장 9.70~12.3(평균 10.2±0.63, n=30)mm로 꼬리지느러미 끝부분이 위쪽으로 휘어지기 시작하면서 중기자치어로 이행하였다. 등지느러미는 분화하기 시작하였고, 꼬리지느러미 아래쪽에는 여러 개의 줄기가 발달하였다. 흑색소포는 꼬리지느러미 끝부분 등 쪽에 1개의 반점형태로 침착하였다. 이 시기의 항문 길이는 전장 대비 78.1%를 차지하였다(Fig. 3F).

부화 후 30일째 중기자치어는 전장 10.1~15.3(평균 12.8±1.74, n=30)mm로 등지느러미에는 6개의 줄기가 발달하기 시작하였고, 꼬리지느러미에는 10개의 줄기가 뚜렷하게 발달하였다. 꼬리지느러미 줄기 위쪽에는 작은 점 모양의 흑색소포가 추가로 침착하였다(Fig. 3G).

부화 후 36일째 중기자치어는 전장 13.9~18.5(평균 16.5±1.59, n=30)mm로 막으로 연결되었던 등지느러미는 분리되었고, 줄기 수는 8개로 증가하였다. 등 쪽에는 기름지느러미가 발달하였고, 기름지느러미 크기는 전장대비 13.6%를 차지하였다. 꼬리지느러미의 줄기 수는 19개로 증가하였으며, 꼬리지느러미 줄기 위쪽에 침착된 흑색소포는 나뭇가지 모양으로 발달하였다. 흑색소포는 머리와 몸통, 꼬리 쪽에 일부 침착하였다(Fig. 3H).

4) 후기자치어(Postflexion larvae)

부화 후 42일째 후기자치어는 전장 14.1~18.8(평균 16.9±1.44, n=30)mm로 꼬리지느러미 말단 끝부분이 45°로 완전히 휘어지면서 후기자치어로 이행하였고, 꼬리지느러미의 기조 수는 19개(10+9)로 증가하였다. 복부에는 1개의 부레가



Fig. 3. Morphological development of larvae and juveniles of *Hypomesus nipponensis*. A: Newly hatched larvae, mean 5.25 mm in total length (TL); B: 3days after hatching (DAH), mean 5.92 mm in TL; C: 7DAH, mean 6.32 mm in TL; D: 15DAH, mean 7.64 mm in TL; E: 21DAH, mean 8.72 mm in TL; F: 25DAH, mean 10.2 mm in TL; G: 30DAH, mean 12.8 mm in TL; H: 36DAH, mean 16.5 mm in TL; I: 42DAH, mean 16.9 mm in TL; J: 45DAH, mean 18.3 mm in TL; K: 49DAH, mean 18.8 mm in TL; L: 56DAH, mean 20.0 mm in TL; M: 71DAH, mean 24.7 mm in TL. Scale bars = 1.00 mm.

발달하였고, 부레의 위치는 전장 대비 41.3%로 몸의 정중앙에서 약간 앞쪽에 위치하였으며, 미병부 아래쪽에는 뒷지느러미가 분화하기 시작하였다. 이 시기의 기름지느러미 크기는 전장 대비 16.0%를 차지하였고, 항문 길이는 전장 대비 74.7%를 차지하였다 (Fig. 3I).

부화 후 45일째 후기자어는 전장 16.0~20.3 (평균 18.3 ± 1.35, n = 30) mm로 각 부위별 지느러미 기조 수는 등지느러미 10개, 뒷지느러미 16개로 증가하였다. 복부 아래쪽과 소화관 위쪽에 침착되었던 흑색소포는 나뭇가지 모양으로 발달하였고, 몸통의 척색을 중심으로 등 쪽에는 머리부터 꼬리까지 반점모양의 흑색소포가 일렬로 침착하였다. 뒷지느러미 기조 위쪽에는 반점모양의 흑색소포가 침착하기 시작하였다 (Fig. 3J).

부화 후 49일째 후기자어는 전장 18.9~21.5 (평균 18.8 ± 1.50, n = 30) mm로 부레 아래쪽에는 배지느러미가 분화하기 시작하였고, 막으로 연결되었던 뒷지느러미와 기름지느러미는 꼬리지느러미와 분리되었다. 꼬리지느러미는 두 갈래로 나누어지면서 상엽과 하엽으로 발달하였다. 흑색소포는 머리와 등지느러미 사이의 척색 아래쪽에 다수 침착하였다 (Fig. 3K).

5) 치어기 (Juvenile)

부화 후 56일째 치어는 전장 16.3~21.2 (평균 20.0 ± 1.14, n = 30) mm로 각 부위별 지느러미 기조 수는 등지느러미 10개, 뒷지느러미 16개, 배지느러미 7개, 꼬리지느러미 19개로 정수에 달하면서 치어기로 이행하였다. 꼬리지느러미 기조 위쪽에는 흑색소포가 증가하였고, 황색소포가 일부 침착하기 시작하였다. 등 쪽에는 반점모양의 흑색소포가 새롭게 침착하기 시작하였고, 소화관 위쪽에 침착하였던 흑색소포는 서로 연결되었다 (Fig. 3L).

부화 후 71일째 치어는 전장 22.9~26.7 (평균 24.7 ± 1.13, n = 30) mm로 몸에는 비늘이 발달하기 시작하였고, 등지느러미 기조 위쪽에 흑색소포가 침착하였다. 꼬리지느러미 기조 위쪽에 침착되었던 흑색소포는 더욱 증가하였다. 머리와 등지느러미 사이 복부 위쪽에 침착되었던 흑색소포는 점차 소실되었다. 기름지느러미 크기는 점차 작아졌고 그 크기는 전장 대비 5.74%를 차지하였다. 항문 길이는 전장 대비 63.2%를 차지하였다 (Fig. 3M).

고 찰

본 연구에서는 빙어의 난 및 자치어 형태를 관찰하여 초기 생활사 과정에서 나타나는 특징을 근연종과 비교하였다.

대부분의 담수어류 난은 침성어란으로 부착방법에 따라 부착란과 점착란으로 구분되며 (Yang *et al.*, 2000; Kim *et al.*, 2011), 잉어, 붕어, 동자개, 대농갱이, 메기 등 난막에 점착성이 강한 점액질을 가진 수정란은 수초나 자갈 등의 물체에 점착하여 수정란의 유실을 방지하고 원활한 산소공급을 유도하는 등 수정란의 생존과 부화율을 높이기 위한 생태적인 특징을 가지고 있다 (Han *et al.*, 2001a, 2001b; Park *et al.*, 2015a, 2015b, 2016; Park and Han, 2017; Mun *et al.*, 2017). 이처럼 빙어의 수정란은 난막에 점액질이 있어 부착하는 성질을 가지고 있었고, 근연종인 *Plecoglossus altivelis ryukyuensis* (Tachihara and Kawaguchi, 2003)의 수정란에서도 점착 성질을 가져 이러한 특징은 발생 기간 동안 많은 수생식물이 서식하는 호소 생태계에서 수정란을 포식자로부터 보호할 수 있으며, 부화 후 자어가 포식자로부터 회피 가능한 운동성을 갖기 전까지 수변 식물에 보호받을 수 있을 것으로 판단된다 (Kim *et al.*, 2020).

대호만 빙어의 수정란 크기는 0.75~0.84 (평균 0.79±0.03, n=30) mm였고, 오십천과 밀양강 개체 (Han *et al.*, 1996) 0.85~1.05 (평균 0.97) mm로 대호만 개체보다 다소 큰 것으로 나타났다. 근연종인 *P. altivelis ryukyuensis* (Tachihara and Kawaguchi, 2003)는 0.98~1.18 (평균 1.06±0.05) mm로 빙어보다 난 크기가 컸다.

난발생 과정 동안 흑색소포 출현 시기는 대호만 개체 수온 22.5°C에서 수정 후 61시간부터 눈에 침착하기 시작하였고, 수정 후 133시간 30분에 미병부와 난황 위쪽에 침착하기 시작하였다. 오십천과 밀양강 개체 (Han *et al.*, 1996)는 수온 17.5°C에서 수정 후 110시간부터 몸 표면과 눈에 침착하기 시작하여 수정 후 130시간에 난황 위쪽, 수정 후 170시간에 배체의 복부 쪽에 침착하였다. *P. altivelis ryukyuensis* (Tachihara and Kawaguchi, 2003)는 수온 19~22°C에서 수정 후 82시간

부터 눈에 흑색소포가 침착하기 시작하였고, 수정 후 98시간에 난황 위쪽과 미병부에 침착하였다. 대호만 개체는 오십천과 밀양강 개체보다 발생 과정 중 수온이 높아 발생 속도가 빠르게 진행했으며, 흑색소포 발달 부위는 대호만 개체가 눈에 침착 후 난황과 미병부 순으로 진행되었고, 오십천 및 밀양강 개체는 눈과 배체가 동시에 발달하여 차이를 보였다. *P. altivelis ryukyuensis*는 대호만 개체와 달리 눈에 흑색소포가 침착한 후 배체에 침착하기 시작하여 차이를 보였다. 대호만 개체와 오십천 밀양강 개체는 흑색소포 발달 순서에서 차이를 보였다.

부화에 소요되는 시간은 대호만 개체 140시간, 오십천 및 밀양강 개체 (Han *et al.*, 1996) 170시간, *P. altivelis ryukyuensis* (Tachihara and Kawaguchi, 2003)는 155시간으로 평균 수온이 가장 높은 대호만 개체가 부화시간이 빨랐다. 대호만 개체와 오십천 및 밀양강 개체의 부화시간은 수온이 높을수록 부화시간이 짧아지는 경향을 보였다 (Table 1).

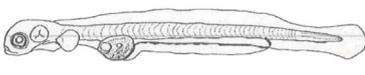
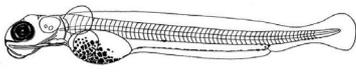
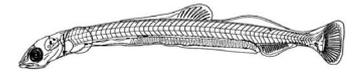
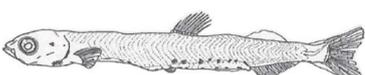
부화 자어 크기는 대호만 개체 평균 전장 5.25 mm였고, 오십천 및 밀양강 개체는 평균 전장 4.05 mm (Han *et al.*, 1996)로 보다 작았고, 일본 아바시리호수 개체 (Torao, 2000) 평균 전장 5.16 mm로 대호만 개체와 유사하였다. *P. altivelis ryukyuensis* (Tachihara and Kawaguchi, 2003)는 평균 체장 5.5 mm로 빙어보다 크기가 컸다. 부화 자어의 근절 수는 대호만 개체 54~57개 (38~40+16~17)였고, 오십천 및 밀양강 개체 (Han *et al.*, 1996)는 52~57개로 유사하였으며, *P. altivelis ryukyuensis* (Tachihara and Kawaguchi, 2003)는 59~62개로 빙어보다 근절 수가 많았다.

부화 자어의 흑색소포 발달을 비교한 결과 대호만 개체는 가슴지느러미 아래쪽에 반점모양으로 침착되었고, 난황 아래쪽을 따라 소화관을 지나 꼬리 부분 기저까지 1열로 침착되었다. 오십천 및 밀양강 개체 (Han *et al.*, 1996)는 가슴 쪽에서 배쪽의 막지느러미 기저에 1열로 항문까지 침착되어 있었으며, 난황 위쪽과 뒤쪽의 소화관 가장자리에 나뭇가지 모양으로 침착되어 있었다. 일본 아바시리호수 개체 (Torao, 2000)는 난황

Table 1. Comparison characters of the eggs and larvae characters in the Osmeridae fishes

Species	Experimental condition	Egg size mm (mean ± SD)	Hatching larvae size mm (mean ± SD)	postflexion larvae size mm (mean ± SD)	Juvenile size mm (mean ± SD)	Authors
<i>Hypomesus nipponensis</i>	Laboratory	0.75~0.84 (0.79±0.03)	4.78~5.60 (5.25±0.26)	14.1~18.8 (16.9±1.44)	16.3~21.2 (20.0±1.14)	Present study
	Laboratory	0.85~1.05 (0.97)	3.85~4.25 (4.05)	—	—	Han <i>et al.</i> , 1996
	Nature	—	4.5~6.5 (5.16±0.17)	12.4~16.2 (14.3±1.30)	14.7~32.6 (24.1±3.83)	Torao, 2000
<i>Plecoglossus altivelis ryukyuensis</i>	Laboratory	0.98~1.18 (1.06±0.05)	5.5	16.3	25.8	Tachihara and Kawaguchi, 2003

Table 2. Comparison of larvae and juveniles development in Osmeridae fishes.

Stages	Species		
	<i>Hypomesus nipponensis</i> ¹⁾	<i>H. nipponensis</i> ²⁾	<i>Plecoglossus altivelis ryukyensis</i> ³⁾
Yolk-sac larvae	 4.78~5.60 mm	 4.5~6.5 mm	 5.5 mm
Postflexion larvae	 14.1~18.8 mm	 12.4~16.2 mm	 16.3 mm
Juveniles	 16.3~21.2 mm	 14.7~32.6 mm	 25.8 mm

¹⁾Present study, ²⁾Torao, 2000, ³⁾Tachihara and Kawaguchi, 2003.

뒤쪽에서 소화관 아래쪽을 따라 1열로 침착되어 있었고, 미병부에도 침착되어 있었다. *P. altivelis ryukyensis* (Tachihara and Kawaguchi, 2003)는 난황 위쪽과 아래쪽, 소화관 아래쪽을 따라 항문까지 침착되어 있었고 몸통 중앙 부근의 아래쪽에 1개, 미병부 기저와 위쪽에 반점모양으로 침착되어 있었다. 대호만 개체는 가슴지느러미 아래 반점모양의 흑색소포가 있으나 오십천 및 밀양강 개체와 일본 아바시리호수 개체에서는 확인되지 않았다. 또 대호만 개체는 난황에서 시작된 흑색소포가 미병부까지 이어져 있었으나 오십천 및 밀양강 개체는 항문까지만 이어져 있어 차이를 보였다. 부화 자어 전장 크기에 따른 흑색소포 분포양상을 비교해 보았을 때 오십천 및 밀양강 개체는 부화 후 4~5일째 자어의 크기(전장 5.20~5.65 mm)가 대호만 개체의 부화 자어 크기(전장 4.78~5.60 mm)와 유사하였으나 미병부 기저에는 흑색소포가 발달하지 않았다. 이외의 형태적 차이로 전장 대비 난황의 위치는 *P. altivelis ryukyensis* 17.4%, 대호만 개체 22.6%, 오십천 및 밀양강 개체 17.5%로 차이를 나타냈다.

후기자어 시기의 형태적 특징은 대호만 개체 전장 14.1~18.8 mm로 아가미 아래쪽에서 몸통을 따라 미병부까지 침착하였고, 소화관을 따라 항문까지 반점모양의 흑색소포가 침착하였다. 미병부의 등 쪽에는 흑색소포가 침착하였고, 꼬리지느러미 기저 위에도 침착하였다.

일본 아바시리호수 개체(Torao, 2000)는 전장 12.4~16.2 mm로 흑색소포는 아가미 뚜껑 아랫부분, 가슴지느러미 뒤쪽 아래부터 소화관을 따라 미병부까지 1열의 반점모양으로 침착되었다.

P. altivelis ryukyensis (Tachihara and Kawaguchi, 2003)는 체장 16.3 mm로 흑색소포는 머리 뒷부분과 가슴지느러미 아래쪽, 몸통 아래쪽과 소화관 아래쪽, 미병부 기저와 등 쪽에

침착하였다. 일본 아바시리호수 개체는 미병부 등 쪽과 몸통 아래쪽에 흑색소포가 없는 점, *P. altivelis ryukyensis*는 머리와 등지느러미 시작점 사이 몸통에 흑색소포가 있는 점에서 대호만 개체 후기자어와 형태적 차이를 나타냈다.

치어 시기 형태적 특징은 대호만 개체 전장 16.3~21.2 mm로 몸통 등 쪽에는 1열로 흑색소포가 미병부까지 침착되어 있었고, 미병부 기저부분과, 소화관, 꼬리지느러미 및 뒷지느러미 기저 위쪽에 침착되어 있었다. 일본 아바시리호수 개체는 전장 14.7~32.6 mm로 머리 뒷부분, 아가미 뚜껑 아랫부분, 소화관, 미병부 기저부분에 침착되어 있었다. *P. altivelis ryukyensis* (Tachihara and Kawaguchi, 2003)는 체장 25.8 mm로 머리 뒷부분, 아가미 뚜껑 윗부분, 가슴지느러미 아랫부분, 몸통 아래쪽, 미병부 기저부분, 등지느러미 기저 아래쪽에 침착되어 있었다. 일본 아바시리호수 개체와 *P. altivelis ryukyensis*는 몸통 등 쪽에서 미병부까지 흑색소포가 1열로 침착되지 않은 점에서 대호만 개체와 형태적 차이를 나타냈다 (Table 2).

연구결과를 종합한 결과 대호만에 서식하는 빙어는 부화 자어 시기 가슴지느러미 아래 반점모양의 흑색소포가 있는 점, 전장 대비 난황의 위치가 다른 점, 후기자어 시기에는 미병부 등 쪽과 몸통 아래쪽에 흑색소포가 침착되어 일본 아바시리호수 개체(Torao, 2000)와 차이를 보였고, 머리와 등지느러미 시작점 사이 몸통에 흑색소포가 없는 점에서 *P. altivelis ryukyensis* (Tachihara and Kawaguchi, 2003)와 구분되었다. 치어기에는 몸통 등 쪽에서 미병부까지 흑색소포가 1열로 침착된 점에서 일본 아바시리호수 개체 및 *P. altivelis ryukyensis* (Tachihara and Kawaguchi, 2003)와 구분할 수 있었다. 일본 아바시리호수(Torao, 2000)에서 관찰된 빙어는 자연 개체를 채집하여 포르말린으로 고정한 표본을 관찰한 것

으로 명확한 형태 비교를 위해 향후 난발생 과정을 비롯한 초기생활사에 대한 전반적인 재검토가 필요할 것으로 사료된다. 대호만 개체와 오십천 및 밀양강 개체는 바다로 연결되는 곳에 서식하는 공통점이 있었으나 초기생활사 과정 중 형태적 특이점을 보였다. Youn *et al.* (1999)의 연구에 의하면 우리나라 주요 하천 수계의 저수지와 연안 주변 하구지역에 서식하는 빙어의 외부형태 형질을 조사한 결과 강과 바다가 연결된 양양 집단을 날빙어로 분류한 바 있다. 따라서 바다와 강 하천을 회유하는 빙어가 형태적으로 어떠한 차이점이 있는지 확인하기 위한 형태적인 차이점 확인과 함께 분자계통학 및 집단유전학적 등 더욱 명확한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

요 약

본 연구에서는 서해안 대호만에 서식하는 빙어를 대상으로 초기생활사 특징을 규명하고자 실시하였다. 빙어의 난은 원형으로 물에 가라앉는 성질을 가진 점착란이었다. 성숙란의 크기는 0.52~0.66(평균 0.59±0.03, n=30) mm였다. 부화 시간은 수온 22~23°C에서 140시간이 소요되었다. 부화 직후 자어는 전장 4.78~5.60(평균 5.25±0.26, n=30) mm로 입과 향문이 완전히 열리지 않았다. 부화 후 7일째 전기자어는 전장 5.91~6.64(6.32±0.21) mm로 입과 향문이 열렸고, 먹이활동을 시작하였다. 부화 후 25일째 중기자어는 전장 9.70~12.3(10.2±0.63) mm로 꼬리 끝 척추말단 부분이 위쪽으로 휘어지기 시작하였다. 부화 후 42일째 후기자어는 전장 14.1~18.8(16.9±1.44) mm로 꼬리 끝 척추말단 부분이 45°로 완전히 휘어졌다. 부화 후 56일째 전장 16.3~21.2(20.0±1.14) mm로 등지느러미 10개, 뒷지느러미 16개, 배지느러미 7개, 꼬리지느러미 19개로 정수에 달하였다. 연구결과 부화 자어 시기 가슴지느러미 아래 반점모양의 흑색소포가 있는 점, 전장 대비 난황의 위치가 다른 점, 후기자어 시기에는 미병부 등 쪽과 몸통 아래쪽에 흑색소포가 침착된 점, 머리와 등지느러미 시작점 사이 몸통에 흑색소포가 없는 점에서 구분되었다. 치어기에는 몸통 등 쪽에서 미병부까지 흑색소포가 1열로 침착된 점에서 근연종들과 구분할 수 있었다.

REFERENCES

- Byeon, H.K. 2010. Ecological characteristics of land-locked and anadromous populations of *Hypomesus nipponensis* (Osmeridae). Korean J. Ichthyol., 22: 249-255.
- Chae, B.S., H.S. Song and J.Y. Park. 2019. A field guide to the freshwater fishes of Korea. LG Evergreen Foundation, Seoul, Korea, pp. 101-105.
- Han, K.H., S.J. Lee, Y.U. Kim and J.G. Myoung. 1996. Eggs development and larval development of the ice fish, *Hypomesus transpacificus nipponensis* McAllister. J. Korean Fish. Soc., 29: 497-502.
- Han, K.H., D.S. Jin, D.J. Yoo, D.J. Yoo, S.R. Baek and D.S. Hwang. 2001b. The early life history of the Crucian carp, *Carassius auratus* in Korea. J. Inst. Sci. Yosu Natl. Univ., 16: 379-387.
- Han, K.N., K.B. Nam and C.H. Jung. 2001a. Development of eggs, larvae and juvenile of the Korean bullhead, *Pseudobagrus fulvidraco* (Richardson) reared in the laboratory. Korean J. Ichthyol., 13: 74-84.
- Ji, H.S., H.J. Yoo, J.K. Kim, D.N. Kim, S.T. Kim, J.N. Kim, H.J. Kim, S.Y. Moon, D.H. Shin, T.Y. Oh, J.T. Yoo, E.A. Yoon, S.K. Lee, H.W. Lee, H.B. Lee, Y.J. Im, J.M. Jeong, J.H. Choi and K.S. Hwang. 2020. Fish eggs, larvae and juveniles of Korea. Hangeul Graphics, Busan, Korea, 442pp.
- Kim, I.S., Y. Choi, C.L. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. Kyohak Publishing Co. Ltd., Seoul, Korea, 615pp.
- Kim, J.K., J.H. Ryu, S. Kim, D.W. Lee, K.H. Choi, T.Y. Oh, K.S. Hwang, J.N. Kim, H.J. Kwun, H.S. Ji and J.N. Oh. 2011. An identification guide for fish eggs, larvae and juveniles of Korea. Hangeul graphics, Busan, Korea, pp. 6-19.
- Kim, K.M., S.Y. Kim, M.Y. Song and H.Y. Song. 2020. Morphological development of egg and larvae of *Hemiculter leucisculus*. Korean J. Ichthyol., 32: 222-231.
- Ko, M.H. and Y.J. Won. 2015. Egg development and early life history of the Korean spine loach, *Cobitis tetralineata* (Pisces: Cobitidae). Korean J. Ichthyol., 27: 95-103.
- ME (Ministry of environment). 2009. Development of genetic diversity analysis, culture and ecosystem restoration techniques for endangered fish, *Iksookimia choii*. Soonchunhyang University, Asan, Korea, 506pp.
- Mun, S.J., H.S. Yim, K.H. Han and J.M. Park. 2017. Morphological development of eggs, larvae and juveniles of the far eastern catfish, *Silurus asotus* in Korea (Pisces: Siluridae). Dev. Reprod., 21: 399-406.
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2022. National list Korea. National Institute of Biological Resources, Incheon, Korea, Accessed 11 Apr 2022 (1 Apr), <https://kbr.go.kr>.
- Okada, Y. 1961. Studies on the freshwater fishes of Japan. Prefectural University of Mie, Tsu, Mie Prefecture, Japan. "1959~1960", 860pp.
- Park, J.M., H.S. Yim, Y.S. Lee, H.Y. Kim and K.H. Han. 2015a. Egg development of the ussuriian bullhead fish, *Leiocassis ussuriensis* (Pisces: Bagridae) morphological development of its larvae and juveniles. Dev. Reprod., 19: 189-196.
- Park, J.M., M.J. Seong, H.S. Yim and K.H. Han. 2015b. Egg development and larvae and juveniles morphology of carp, *Cyprinus carpio* in Korean. Dev. Reprod., 19: 119-126.
- Park, J.M., S.M. Yoon, Y.S. Seo, K.H. Han and D.J. Yu. 2016. Morphological development of eggs, larvae and juveniles of the

- starlet sturgeon, *Acipenser tuthenus* (Pisces: Acipenseridae). Korean J. Ichthyol., 28: 179-185.
- Park, J.M. and K.H. Han. 2017. Eggs development and early life history of pale chub, *Zacco platypus* from Wicheon. Korean J. Ichthyol., 29: 190-196.
- Park, K.S., Y.P. Hong, U.K. Moon, S.S. Choi and K.K. An. 2005. The egg development of Korean slender gudgeon, *Squalidus gracilis majimae* (Cypriniformes: Cyprinidae). Korean J. Limnol., 38: 73-82.
- Ryu, B.S. 1974. Ecological study of pond-smelt, *Hypomesus olidus* (Pallas) in Woonam-Reservoir. II. Spawning and physical environment of pond-smelt in Woonam. Korean J. Ecol. Environ., 7: 1-2.
- Ryu, B.S. and K.R. Lee. 1981. Morphological variations in relation to geographical distribution of pond smelt, *Hypomesus olidus* Pallas. Bull. Korean Fish. Soc., 14: 179-188.
- Song, H.Y., H. Yang, E.M. Jo, H.C. Sin and I.C. Bang. 2009. Morphological development of egg and larvae of *Koreocobitis nakdongensis* (Cobitidae). Korean J. Ichthyol., 21: 247-252.
- Tachihara, K. and K. Kawaguchi. 2003. Morphological development of eggs, larvae and juveniles of laboratory-reared ryukyu-ayu *Plecoglossus altivelis ryukyuensis*. Fish. Sci., 69: 323-330.
- Torao, M. 2000. Early developmental phase of wakasagi, *Hypomesus nipponensis*, in lake Abashiri. Fish. Sci., 66: 605-607.
- Yang, H.J., U.K. Kim, I.S. Kim and T.H. Hyung. 2000. Fish terminology. Junghaeng Publ. Co., Seoul, Korea, 73pp.
- Youn, C.H., I.S. Kim and W.O. Lee. 1999. Taxonomic revision of the genus *Hypomesus* in Korea. Korean J. Ichthyol., 11: 149-154.