

대구 (*Gadus macrocephalus*)의 난 발생 및 자어 형태발달

김태진 · 박충열 · 이소광¹ · 곽우석*

국립경상대학교 해양생명과학과, ¹경상남도수산자원연구소

Morphological Development of Eggs and Larvae of the Pacific Cod, *Gadus macrocephalus*

Tae-Jin Kim, Chung-Youl Park, So-Gwang Lee¹ and Woo-Seok Gwak*

Division of Marine Bioscience, The Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

¹Gyeongsangnam-do Fisheries Resources and Research Institute, Tongyeong 650-947, Korea

Embryonic and larval developments on Pacific cod, *Gadus macrocephalus* are described from laboratory-reared specimens. The eggs (1.075~1.168 mm in diameter) were weakly adhesive, almost spherical in shape, transparent and unpigmented, showing a pale yellow yolk without oil globules. Hatching was occurred 220 hrs after fertilization at 9.8°C. The newly hatched larvae (3.72~4.40 mm in total length, TL) had 43~47 (11~13+32~34) myomeres, mouth and anus which was not yet opened. The yolk was completely absorbed at 4.58 mm TL, and transformed to postlarval stage. Locations of the anus and second dorsal fin origin, and distinctive growth of the larvae head were observed at 5.48 mm TL with melanophores in the gill cover and upper region of the occipital. In addition, melanophores were distinctive in the ventral region and caudal fin base at 6.88 mm TL. All fins were formed with a complete set of fin rays having the following counts (D. 3~7-12~14-13~14; A. 13-15) at 11.54 mm TL. Both lateral line and barbel of lower jaw were observed at 15.07 mm TL.

Key words : *Gadus macrocephalus*, egg, larva, morphological development

서 론

대구 (*Gadus macrocephalus*)는 대구목 (Gadiformes), 대구과 (Gadidae), 대구속 (*Gadus*)에 속하는 어류로 우리나라 서해 북부와 동해, 북쪽으로는 오토츠크해, 베링해, 북동 태평양쪽으로는 알라스카만을 따라 남쪽으로 북미 캘리포니아 연안까지 광범위한 해역에 분포하는 냉수성 어종이다 (Westrheim, 1996). 대구과 (Gadidae) 어류는 전세계적으로 약 62종이 서식하고 있으며 (Nelson, 2006),

대부분은 북반구의 아한대역에서부터 고위도 해역까지 수산업상 중요한 어획대상종이다. 한반도 연안에는 빨간대구 (*Eleginus novaga*), 수염대구 (*Enchelyopus cimbrius*), 대구 (*Gadus macrocephalus*), 명태 (*Theragra chalcogramma*), 모오케 (*Lota lota*)의 5속 5종만이 알려져 있다 (김, 2005).

대구의 초기생활사에 있어서 난 및 자치어의 특성에 대해서는 Kamiya (1925)와 Inaba (1931)의 보고가 있고, 태평양 북부에 서식하는 대구에 대해서는 오토츠크해를 포함한 극동해역 번식 집단의 성숙, 번식 및 난의 특성 (山本와 西岡, 1952; Moiseev, 1953, 1960; Mukhacheva

*Corresponding author: wsgwak@gsnu.ac.kr

and Zviagina, 1960; Thomson, 1963), 성숙란의 비중 (Tamura, 1952), 난 발생과 자어의 성장 (Forrester, 1964)이 있으며, 캐나다 연안의 대구에 대하여 난 발생 최적수온, 염분농도 및 용존산소량 (Alderdice and Forrester, 1971)에 대한 보고 등이 있다. 한편, 우리나라 연안에 서식하는 대구에 대해서는 Uchida (1936)가 분포, 어획시기, 어장 및 생활사 등에 대해 보고하면서, 난 발생과 자치어 성장과정에 대해서는 간략하게 언급하였고, 명 (2003)의 초기생활사에 대한 보고가 있으나 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 대구의 초기생활사를 명확히 하고자 하는 목적으로 난 및 자어 발생과 외부 형태발달에 따른 변화를 발생 및 성장 단계 별로 기재하여 형태학적 특성을 규명하였기에 보고한다.

재료 및 방법

본 연구에서 대구 어미는 2005년 1월 11일 경남 거제시 장곡면 외포리 연안에서 호망으로 어획된 성숙한 대구 친어(암컷: 전장 68.5 cm, 수컷: 전장 63.5 cm)를 이용하였고, 수정란을 얻기 위하여 경상남도 수산자원연구소에서 건도법으로 인공수정 하였다.

난 발생시 수온, 염분, 용존산소, 해수비중은 1일 1회 측정하였으며, 수온범위는 9.1~10.2°C (평균 9.8°C), 염분은 36.6~37.2 psu (평균 36.8 psu), 용존산소는 10.2~11.1 ppm (평균 10.7 ppm), 해수비중은 1.025~1.028 (평균 1.026)이었다. 사육수는 고압여과기에서 여과된 해수를 매일 전량 환수 하였다.

부화 후 사육수온은 8.7~11.8°C (평균 9.8°C)를 유지하였으며, 부화 후 2일부터 30일까지 매일 아침 해산클로렐라, *Chlorella ellipsoidea*를 100만 cell/mL 농도로 사육수에 첨가하였고, 부화 후 2일부터 5일까지는 로티퍼, *Brachionus rotundiformis*를 5개체/mL, 6일부터 40일까지는 10개체/mL 이상 되도록 1일 2회 공급하였다. 알테미아, *Artemia* sp.는 부화 후 23일부터 35일까지 1일 2회, 35일부터는 유화오일로 영양 강화하여 공급하였고, 배합사료는 부화 후 25일부터 알테미아 공급 전 1일 3회 공급하였다.

자어 형태발달을 관찰하기 위하여 부화 직후부터 부화 후 70일까지 사육 수조에서 매일 30개체 이상을 채집하여 10% formalin에 고정하였다. 난 발생 과정 및 자어의 성장과정은 입체해부현미경 (OLYMPUS TOKYO 256342, Japan)과 만능투영기 (Nikon V-12B, Japan)로 난과 어체의 각 부위를 관찰하였고, 0.01 mm까지 측정

하였다.

결 과

1. 난의 형태

대구 어미에서 인위적으로 얻은 수정란은 구형이고, 연한 황색을 나타내었으며, 약한 점성을 가진 침성란이지만 난 발생 과정 중 시간 경과에 따라 분리 침성란으로 변화하였다. 수정란 크기는 1.075~1.168 mm (평균 1.129 mm, n=30)였다.

2. 난 발생

수정 후 2시간 12분에 난막이 난황과 분리 되면서 배반이 형성되었고 (Fig. 1, A), 4시간 28분에 배반의 중앙 부위가 수직 이등분되어 2세포기로 이행하였다 (Fig. 1, B). 7시간 46분에 2세포기의 할구들이 다시 수직 이등분되어 4세포기로 이행하였다 (Fig. 1, C). 9시간 10분에 세포분열이 계속되어 8세포기로 이행하였다 (Fig. 1, D). 10시간 45분에 할구수가 더 증가하여 16세포기로 이행하였으며 할구의 크기가 비교적 작아졌다 (Fig. 1, E). 12시간 50분에 32세포기가 되어 할구가 작아지고 조밀해져 있는 것을 볼 수 있었다 (Fig. 1, F). 19시간 35분에 할구의 크기가 매우 작아지고 세포의 수는 증가하여 상실기에 달하였다 (Fig. 1, G). 27시간 50분에 난황이 계속적으로 진행되어 배반의 전체 높이가 약간씩 감소되어 포배기에 달하였다 (Fig. 1, H). 39시간 20분에 배환이 난황을 점차적으로 감싸면서 배환의 한 부분이 함입되어 낭배기로 이행하였으며 (Fig. 1, I), 51시간 30분에 배순이 자라 올라가 처음으로 배체가 형성되었다 (Fig. 1, J). 67시간 20분에 배체가 분화하면서 안포가 형성되었고, 6~8개의 근질이 나타나면서 꼬리 부분에 Kupper씨포가 출현하였다 (Fig. 1, K). 94시간 30분에 근질수가 34~38개로 증가하였고, 눈에 렌즈와 이포가 형성되었으며, 두부에서 꼬리까지 약 40여개의 흑색소포가 출현하였고, 꼬리가 난황에서 분리되기 시작하였다 (Fig. 1, L). 120시간 30분에 심장박동이 관찰되었으며, 배체의 머리 부분이 크기가 점점 커지고 가슴지느러미 원기가 발달하였다 (Fig. 1, M). 164시간 10분에 꼬리부분이 신장되어 머리 부분에 닿아 있었으며, 눈에 흑색소포가 침착하기 시작하였고, 꼬리의 막지느러미가 발달하기 시작하였으며, 난막 안에서 배체의 간헐적인 움직임이 관찰되었다 (Fig. 1, N). 188시간 30분에 눈은 구아닌 색소가 침착하고 검은색을 띠었으며, 몸통과 꼬리 부분에 흑색소포

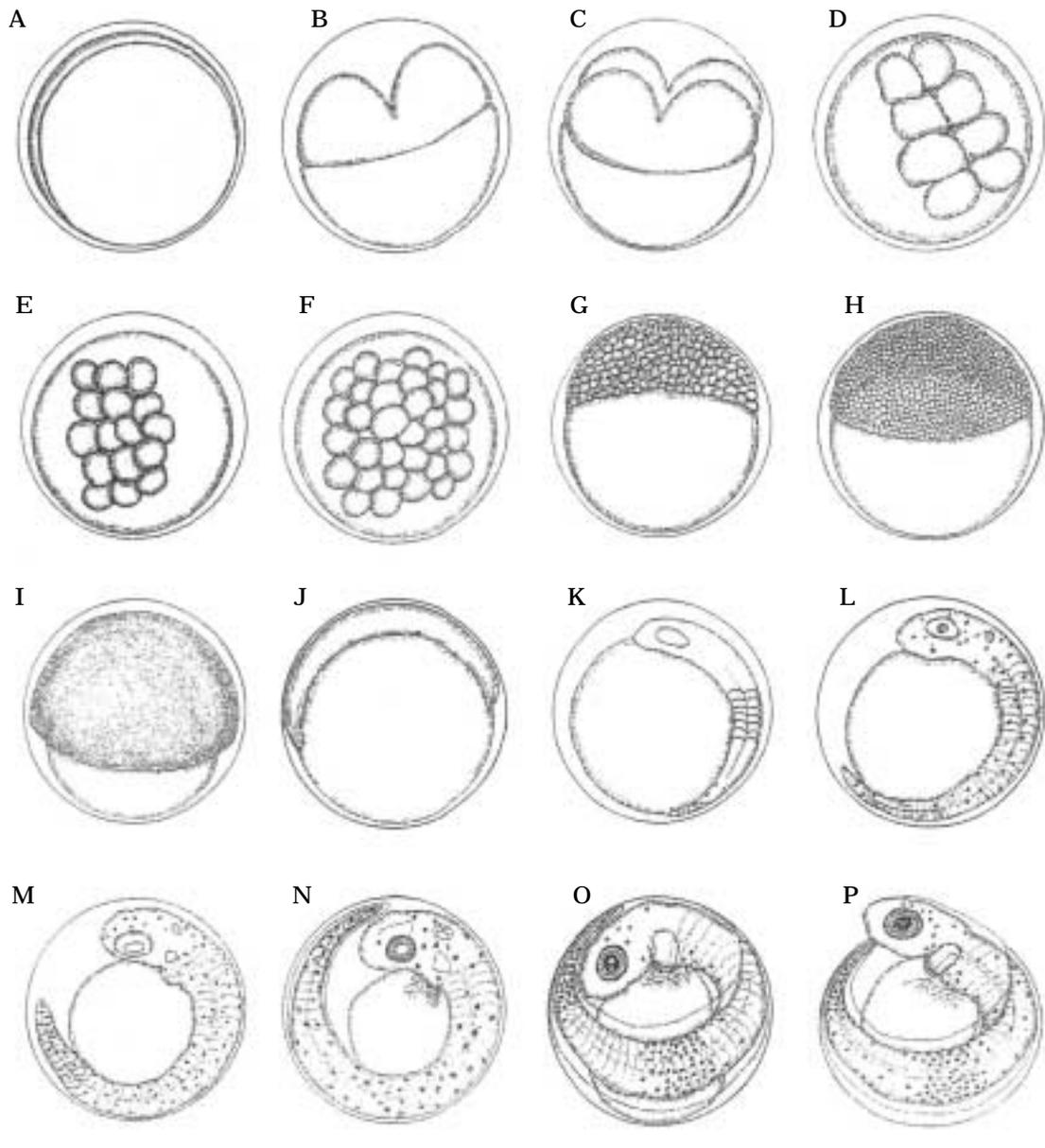


Fig. 1. Developmental stages of fertilized eggs of the Pacific cod, *Gadus macrocephalus*. Scale bars=1.0 mm. A: Blastodisc stage, 2 hrs and 12 mins after fertilization; B: 2 cell stage, 4 hrs and 28 mins; C: 4 cell stage, 7 hrs and 46 mins; D: 8 cell stage, 9 hrs and 10 mins; E: 16 cell stage, 10 hrs and 45 mins; F: 32 cell stage, 12 hrs and 50 mins; G: Morula stage, 19 hrs and 35 mins; H: Blastula stage, 27 hrs and 50 mins; I: Gastrula stage, 39 hrs and 20 mins; J: Embryo formation, 51 hrs and 30 mins; K: 6~8 myotomes stage, appearance of optic vesicles, 67 hrs and 20 mins; L: 15~18 myotomes stage, Formation of eye lens, appearance of auditory vesicles, 94 hrs and 30 mins; M: 26~29 myotomes stage, Development of pectoral fin, melanophores appeared on the embryo, 120 hrs and 30mins; N: 34~38 myotomes stage, melanophores appearance of eye, 164 hrs and 10 mins; O: Guanine pigmentation of eye, melanophores aggregated distribution of tail and trunk, 188 hrs and 30 mins; P: Hatching 220 hrs and 30 mins. Scale bars indicate 1.00 mm.

들이 집중적으로 나타났다 (Fig. 1, O). 수정 후 220시간 30분에 난막 안에서 배체가 심하게 꿈틀거리면서 난막을 뚫고 머리부터 부화하기 시작하였다 (Fig. 1, P).

3. 자어 형태발달

부화 직후 자어는 전장 3.72~4.40 mm (평균 4.03 mm, n=30), 체장 3.55~4.25 mm (평균 3.88 mm, n=30)로 입

과 항문이 열려 있지 않았다. 몸통 앞부분에 난황을 가지고 있었으며, 항문은 몸의 앞쪽 막지느러미 중앙에 위치하였고, 등지느러미, 뒷지느러미, 꼬리지느러미는 막상으로 연결되어 있었다. 눈에는 흑색소포가 착색되어 있었고, 몸은 가늘고 길며 흑색소포는 별과 나뭇가지 모양으로 두정부와 특히 턱 아래에 집중되어 있었으며, 가슴지느러미 기저부분, 소화관 상부, 그리고 꼬리 부분에서 관찰되었다. 근절은 43~47개 (11~13+32~34)였다 (Fig. 2, A).

부화 후 4일째는 전장 4.33~4.79 mm (평균 4.58 mm, n=30), 체장 4.09~4.62 mm (평균 4.37 mm, n=30)로 입이 열려있었으며, 난황이 거의 흡수되었고, 소화관이 분화되기 시작하였다. 또한 먹이생물인 rotifer 섭식을 확인할 수 있었다. 흑색소포는 등과 배 쪽 꼬리지느러미에서 쌍을 형성하였으며, 흑색소포 군이 증가하여 범위가 넓어지는 것을 볼 수 있었다. 항문은 몸의 중앙에 위치해 있었다 (Fig. 2, B).

부화 후 13일째는 전장 5.04~5.95 mm (평균 5.48 mm, n=30), 체장 4.76~5.66 mm (평균 5.20 mm, n=30)로 몸은 더욱더 가늘어 졌으며 항문은 약간 앞 쪽으로 위치하였다. 머리가 커졌으며 부채꼴 모양의 꼬리지느러미가 발달하기 시작하였다. 막지느러미가 조금 더 발달 하였을 뿐 각각의 지느러미가 아직 분화하지 않은 것을 볼 수 있었다. 등지느러미와 뒷지느러미의 원기가 출현하였으며, 근절은 W자 모양으로 체절이 형성 되었다. 이 시기에 흑색소포는 아가미 뚜껑 뒷부분과 기저 후두골 위 가장 자리에서 증가하여 출현하였다 (Fig. 2, C).

부화 후 28일째 전장 5.46~8.04 mm (평균 6.88 mm, n=30), 체장 5.21~7.66 mm (평균 6.60 mm, n=30)로 등지느러미와 뒷지느러미가 분화하기 시작하였으며, 흑색소포는 몸 중앙부의 배 쪽과 꼬리지느러미 기저부에서 증가 하였다. 입과 머리가 더욱 커졌으며 체형은 성어와 유사한 형태를 하고 있었다 (Fig. 2, D).

부화 후 54일째는 전장 8.20~15.92 mm (평균 11.54 mm, n=30), 체장 7.48~14.61 mm (평균 10.75 mm, n=30)로 개체간 크기 차이가 커진 것을 볼 수 있었다. 이 시기에는 흑색소포 분포 범위가 더욱 넓어지고 있었고, 막지느러미가 소실되었으며, 각 지느러미 마다 줄기가 제1등지느러미는 3~7개, 제2등지느러미는 12~14개, 제3등지느러미는 13~14개, 제1뒷지느러미는 13개, 제2뒷지느러미는 15개의 줄기가 발달되었다. 항문은 뒷지느러미 바로 앞에 위치해 있었다 (Fig. 2, E).

부화 후 68일째는 전장 12.80~19.68 mm (평균 15.07 mm, n=30), 체장 11.70~18.08 mm (평균 14.69 mm, n=30)로 3개의 등지느러미와 2개의 뒷지느러미가 완전

히 분화되어 있었고, 흑색 소포는 아래 턱, 머리, 주둥이 부분에서 시작해 가슴, 배, 등에서 꼬리 쪽으로 넓게 분포하고 있었으며, 측선이 발달하기 시작하였다. 이 시기에 대구의 아래턱 수염이 관찰 되었으며, 특유의 무늬는 아직 나타나지 않았다 (Fig. 2, F).

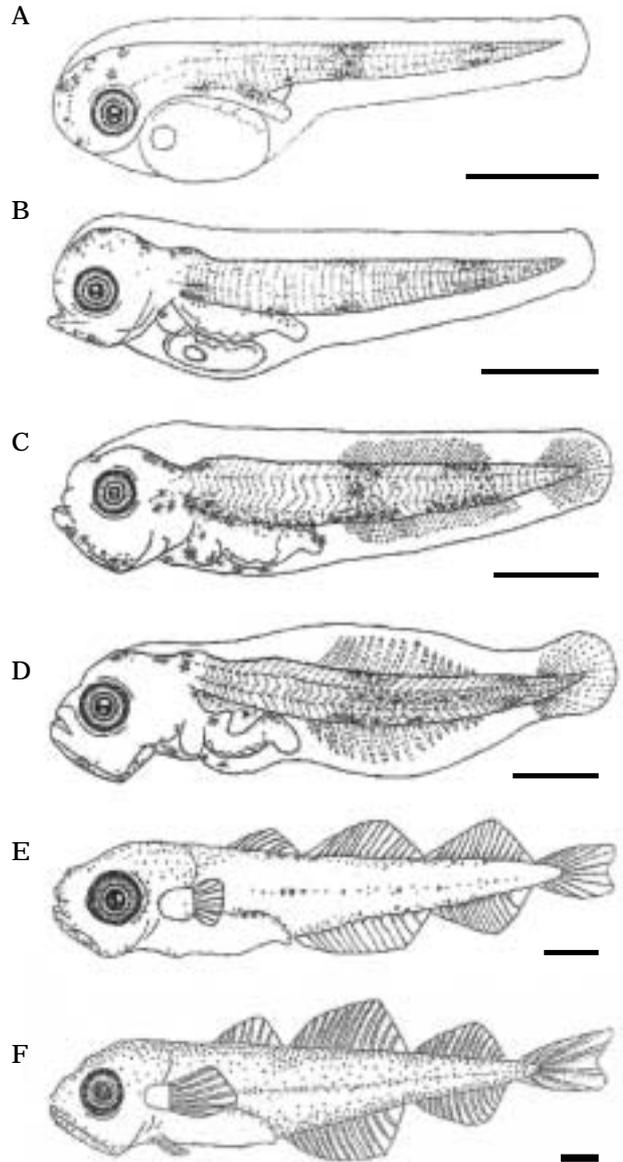


Fig. 2. Morphological development of larva of the Pacific cod, *Gadus macrocephalus*. A: Newly hatched larvae, 3.72~4.40 mm (mean 4.03 mm, n=30) in total length (TL), 1 days after hatching (DAH); B: 4.33~4.79 mm (mean 4.58 mm, n=30) in TL, 4 DAH; C: 5.04~5.95 mm (mean 5.48 mm, n=30) in TL, 13 DAH; D: 5.46~8.04 mm (mean 6.88 mm, n=30) in TL, 28 DAH; E: 8.20~15.92 mm (mean 11.54 mm, n=30) in TL, 54 DAH; F: 12.80~19.68 mm (mean 15.07 mm, n=30) in TL, 68 DAH. Scale bars indicate 1.00 mm.

고찰

진해만에 산란 회유한 대구의 수정란은 난막이 투명하지만 단단하고 두꺼운 침성란이었고, 약한 점성을 갖고 있으며, 용기 중에 수용해도 빠른 속도로 침강하여 비중이 해수보다 높음을 보고하였다(Uchida, 1936). 본 연구의 해수 비중 1.025~1.028 (평균 1.026)에서 수정란이 침강한 것과 대구 수정란의 비중이 1.049(Tamura, 1952)와 1.052(山本와 西岡, 1952)인 것을 고려할 때 수정란 비중이 1.026 이상의 침성란인 것으로 추측된다. 한편, 오후츠크해와 베링해 방면의 대구 수정란은 부성란으로 발생이 진행된 후, 부화 직전에 침강하는 것이 보고되었다(丸川, 1918).

수정란 크기는 Uchida (1936)가 진해만에서 채집한 대구 성어에서 얻은 수정란이 1.25~1.30 mm로 보고한 것과 본 연구의 1.08~1.17 mm는 약간의 차이가 있고 명(2003)의 결과와는 일치하였으며, 오후츠크해에 서식하는 대구 수정란의 평균 1.60 mm(丸川, 1918)에 비교하면 차이가 나는 것으로 나타났다. 또한 일본 Noto연안 대구 수정란 0.98~1.11 mm(Kamiya, 1925)와 일본 Mutsu Bay의 0.98~1.08 mm(Inaba, 1931)와는 유사한 것으로 나타났다. 한편, 대구 수정란에서 유구가 확인되지 않은 것은 Uchida (1936)와 Moiseev (1953)의 결과와 일치하였으며, 같은 대구과(Gadidae)에 속하는 명태(*Theragra chalcogramma*)가 발생초기에 미소한 유구가 5~6개 있다가 뒤에 소실된 것과 차이를 보였다(김, 1981).

수정란 발생에 따른 배체는 본 실험에서 수정 후 51시간 30분 경과 후 형성되었지만, Uchida (1936)는 5~8°C에서 72시간이 소요된다고 보고하였다. 山本와 西岡(1952)는 평균 사육수는 7.4°C에서 수정 후 6일째 안포형성, 7일째 이포 함입, Kupper씨포 출현, 10일째 심장박동, 11일째 가슴지느러미 원기를 확인하여 발생과정에 있어서 본 연구결과와 3~6일 정도 차이를 보였고 안포와 Kupper씨포를 75시간 쯤 확인한 명(2003)의 결과와는 거의 유사한 것으로 나타났다. 또한 Uchida (1936)는 심장박동과 눈의 흑화가 확인된 시기에 대해 각각 168시간과 240시간으로 보고한 반면, 본 실험에서는 120시간 30분과 164시간 10분이 소요되어 상대적으로 짧은 시간이 소요되었다. 수정에서 부화까지 소요되는 기간은 본 실험에서는 수온 9~10°C에서 10일로 확인되었는데, 이는 진해만에서 채집한 대구에서 수정란을 얻어 난 발생에 미치는 수온의 영향을 조사한 山本(1939)가 수온 9.9°C에서 9.7일과 10.3일로 보고한 것과 매우 잘 일치

하고, 8~9°C에서 부화까지 11일이 소요된 명(2003)의 결과와는 차이가 있었다. 한편, Uchida (1936)는 진해만 내에서 가장 낮은 수온인 4.0~5.5°C에서 부화까지 18~20일, 산란초기의 진해만 산란장의 수온인 6~9°C에서는 12~14일이 소요된다고 보고하였으며, 이는 山本(1939)의 결과와도 잘 일치 한다. 한편, 일본 Noto연안에 서식하는 대구 수정란의 부화까지 소요 일수는 수온 7.0~14.0°C에서 9일(Kamiya, 1925), Mutsu Bay의 경우는 6.3~7.0°C에서 10일(Inaba, 1931)이 소요되는 것으로 나타났다. 이는 수온이 대구 수정란 발생에 큰 영향을 미치는 것과 서식해역에 따라 차이가 있음을 시사하고 있다. 게다가 山本(1939)는 평균 사육수온 10°C 이상에서는 부화율이 낮으며 기형율이 높고, 4°C 이하에서도 기형율이 높음을 보고하였다. 결과적으로 대구 수정란의 부화 적수온은 부화율이 높고, 기형율이 낮게 나타난 5~9°C가 적당하며, 특히 6~7°C가 가장 적당하다고 보고되었다. 이는 진해만에서 대구 산란회유의 최성기인 1월의 진해만 평균 수온이 7.6~9.4°C인 것과도 잘 일치한다(김 2007). 본 연구에서도 평균수온 9.8°C에서 부화율이 71%로 비교적 높게 나타났다. 이와 같은 결과와 매년 겨울 진해만으로 산란회유하는 대구의 생태를 고려할 때, 수온은 대구 난 발생 뿐만 아니라 산란회유와도 밀접한 관련이 있을 것으로 사료된다.

부화 직후 자어의 전장은 본 연구에서 3.72~4.40 mm인 반면, Uchida (1936)가 3.6 mm, 山本와 西岡(1952)가 3.7~4.0 mm, 명(2003)이 4.2~4.6 mm를 보고하여 거의 유사한 경향을 나타내었다. 그러나 같은 대구과에 속하는 명태의 부화 직후 전장은 5.1~6.2 mm(落合와 田中, 1986)로 대구와 차이를 나타냈다. 대구 부화자어의 특징이라고 할 수 있는 흑색소포가 가슴지느러미 기저부분, 소화관 상부 그리고 꼬리부분에서 관찰되어 Uchida (1936)와 沖山(1988)의 결과와 잘 일치하였다. 落合와 田中(1986)은 대구 부화자어의 체절수를 11+30=41로 보고하여 본 연구결과보다 약간 적었고, 명태의 54개(Uchida, 1936)와는 큰 차이를 보였다.

山本와 西岡(1952)는 부화 후 5일째 난황이 현저히 흡수되었고, 입이 열리고, 소화관이 분화되기 시작하는 것을 확인하였고, 본 연구에서는 부화 후 4일째에 해당하였다. 부화 후 4일째 자어에서는 섭식이 확인되었는데, 이는 興世田(1993)의 결과와 일치하였다. 또한 山本와 西岡(1952)는 부화 후 14일째 막지느러미 중에 꼬리지느러미 발달을 보고하였는데, 본 연구에서는 부화 후 13일째 확인되어 유사한 결과를 나타냈다.

자어의 성장은 山本와 西岡(1952)의 부화 후 5일째 전장 5.0~5.2 mm, 10일째 5.2~5.5 mm 그리고 15일째

5.7~6.0 mm와 유사하게 나타났다. 한편, 부화 후 28일에는 평균체장이 6.6 mm에 달하여, 명태를 6°C에서 동일 기간 사육 시, 7.3 mm (Porter and Theilacker, 1999) 그리고 5.2~6.8°C의 경우, 체장 7.6 mm (Oozeki and Bailey, 1995)에 달하는 것과 대조를 이루었다. 부화 후 54일째는 각 지느러미 줄기가 정수에 달했고, 성장이 급격히 빨라졌으며, 이는 부화 후 50일째 전장 12.6 mm에 달한 후, 급성장을 보인 中野 (1986)의 결과와 유사하였다. 부화 후 68일째 평균 전장 약 15 mm에 달한 대구 후기 자어와 사육수는 8.4°C에서 부화 후 69일째 전장 38 mm에 달한 명태의 성장 (Bailey and Stehr, 1986)을 비교할 때 같은 과에 속한 냉수성 어류지만, 대구보다는 명태 자치어 성장이 상대적으로 빠른 것이 확인되었다.

적 요

2005년 1월 11일 경남 거제시 장목면 외포리 연안에서 호망으로 어획된 성숙한 대구 친어(암컷: 전장 68.5 cm, 수컷: 전장 63.5 cm)를 이용하여 건도법에 의해 인공 수정을 통해 수정란을 얻은 후, 난 발생 및 자어 형태 발달을 관찰하였다. 난은 발생 초기에 점착성이 약한 침성란의 특징을 갖고 있었고, 난경은 1.075~1.168 mm (평균 1.129 mm, n=30)로 유구를 가지고 있지 않았으며, 난 발생이 진행됨에 따라 분리 침성란으로 변화하였다. 사육수온은 9.1~10.2°C (평균 9.8°C)에서 수정 후 220시간 30분에 배체가 심하게 꿈틀거리면서 부화하기 시작하였다.

부화 직후 자어의 전장은 3.72~4.40 mm, 근절 43~47개 (11~13+32~34)로 입과 항문은 열려 있지 않았다. 난황은 평균 전장 (이하 전장) 4.58 mm에서 거의 흡수 되었으며, 후기자어로 이행하였다. 등지느러미 및 뒷지느러미의 원기는 전장 5.48 mm에서 출현하였으며, 전장 6.88 mm에서 두 지느러미가 분화하기 시작하였고, 흑색 소포는 몸 중앙부의 배 쪽과 꼬리지느러미 기저부에서 증가하였다. 막지느러미는 전장 11.54 mm에서 소실되었고, 각 지느러미마다 줄기가 발달 해 있었다(D. 3~7-12~14-13~14; A. 13-15). 측선과 대구 특유의 아래턱 수염은 전장 15.07 mm에서 확인되었다.

사 사

이 논문은 해양수산부 지원 2006년도 수산특정연구개발사업에 의하여 지원되었습니다.

인 용 문 헌

- 명정구. 2003. 대구자원의 효율적 증강대책. 한국해양연구원. 서울, pp. 82.
- 김용역. 1981. 한국연근해 어난·치자 도감. 부산수산대학 해양과학연구소, pp. 121.
- 김익수·최 윤·이충열·이용주·김병직·김지현. 2005. 원색한국어류대도감. 교학사, pp. 615.
- 김태진·김병기·박충열·최병언·주형운·지환성·신상용·이소광·박우석. 2007. 진해만에 산란회유하는 대구 (*Gadus macrocephalus*)의 특성-I 위판장조사. 한국수산과학총연합회 공동학술대회 발표 요지집, pp. 389.
- Alderdice, D.F. and C.R. Forrester. 1971. Effects of salinity, temperature, and dissolved oxygen on early development of the Pacific cod (*Gadus macrocephalus*). J. Fish. Res. Bd. Canada, 28 : 883~902.
- Bailey, K.M. and C.L. Stehr. 1986. Laboratory studies on the early life history of the walleye pollock, *Theragra chalcogramma* (Pallas). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 99(3) : 233~246.
- Forrester, R.C. 1964. Laboratory observations on embryonic development and larvae of the Pacific cod (*Gadus macrocephalus* Tilesius). J. Fish. Res. Bd. Canada, 21 : 9~16.
- Inaba, D. 1931. On some teleostean eggs and larva found in Mutsu Bay. Records of Oceanographic Works in Japan, Vol. 111, No. 2, Tokyo, pp. 53~62.
- Kamiya, T. 1925. The pelagic eggs and larvae of fishes on the coast of "Hokuriku" (Northwest Part of Japan Proper). Jour. Imp. Fish. Inst., 21(3) : 86~106.
- Moiseev, P.A. 1953. Cod and flounders of far eastern seas. Izvestiia Tikhookeanskovo N.-I. Inst. Rybnovo Khoziaistva i Okeanografii, 40 : 1~287.
- Moiseev, P.A. 1960. The behavior of the Pacific cod in various zoogeographical areas. Zool. Zh., 39 : 558~562.
- Mukhacheva, V.A. and O.A. Zviagina. 1960. Development of the Pacific cod, *Gadus morhua macrocephalus* (Tilesius). Tr. Inst. Okeanol., Akad. Nauk. SSSR, 31 : 145~165.
- Nelson, J.S. 2006. Fishes of the World (4th ed.). John Wiley & Sons, Inc., pp. 601.
- Oozeki, Y. and K.M. Bailey. 1995. Ontogenetic development of digestive enzyme activities in larval walleye pollock, *Theragra chalcogramma*. Mar. Biol., 122 : 177~186.
- Porter, S.M. and G.H. Theilacker. 1999. The development of the digestive tract and eye in larval walleye pollock, *Theragra chalcogramma*. Fish. Bull., 97 : 722~729.
- Tamura, O. 1952. The specific gravity of mature eggs of cod (*Gadus macrocephalus*). Special publication of the Japan Sea Regional Fisheries Research Laboratory on

- the third anniversary of its founding. pp. 271~275.
- Thomson, J.A. 1963. On the demersal quality of the fertilized eggs of Pacific cod, *rocephalus* Tilesius. J. Fish. Res. Bd. Canada, 20(4) : 1087~1088.
- Uchida, K. 1936. On the Pacific cod of adjacent waters to Korea. Chousen no Suisan, 130 : 24~39.
- Westrheim, S.J. 1996. On the Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in British Columbia waters, and a comparison with Pacific cod elsewhere, and Atlantic cod (*G. morhua*). Can. Tech. Res. Fish. Aquat. Sci., 2092, pp. 390.
- 丸川 久俊. 1918. 水産講習所漁業基本調査報告, 87~95.
- 中野 昌次. 1986. 마달라의種苗生産. 사이바이, 39 : 23~27.
- 落合 明・田中 克. 1986. 魚類學. 恒星社恒星閣. 東京, pp. 1140.
- 沖山宗雄. 1988. 日本産稚魚圖鑑. 東海大學出版會. 東京, pp. 1154.
- 山本 孝治. 1939. 朝鮮産タラ卵の發生におよぼす水溫の影響に就いて. 動物誌, 8(7) : 40~43.
- 山本 護太郎・西岡 丑三. 1952. 마달라의發生及びに孵化幼生の飼育. 日本海區水産研究所創立三周年記念論文集. pp. 301~308.
- 與世田 兼三. 1993. 마달라種苗生産技術開發の現状. 日本海ブ
ロック試験研究集録. 27 : 33~44.

Received : June 12, 2007

Accepted : November 28, 2007