

한국 동해계군 대구 (*Gadus macrocephalus*)의 난발생과 자치어의 성장

서영석* · 박무억 · 김진각 · 이상욱
경상북도 수산자원개발연구소

Egg Development and Juvenile Growth of the Pacific Cod *Gadus macrocephalus* (Korean East Sea Population)

Young Seok SEO*, Mu Eok PARK, Jin Gak KIM and Sang Uk LEE
Gyeongsangbukdo Fisheries Resources Development Institute, Yeongdeok 766-852, Korea

Egg development and juvenile growth of the Pacific cod *Gadus macrocephalus* (Korean East Sea Population) were studied to increase fry production using mass cultivation. The eggs were rectangular and adhesive sinking type. The egg size and fertilization rate were 1.01-1.09 mm and 72.4%, respectively. The cumulative times for egg hatching at 3, 6, 9, and 12°C were 600, 360, 240, and 192 hrs, respectively. The hatching rates at 3, 6, 9, and 12°C were 60.2, 68.9, 62.5, and 40.6%, respectively. After 11, 45, and 90 days, the larvae grew to a total length of 5.46-5.99, 9.42-10.06, and 23.0-32.0 mm, respectively. At 100 days from hatching, they grew to an average of 30 mm with a 7.1% survival rate. By 312 days, juveniles with a total length of 3.6 cm grew to a total length of 14.7-20.1 cm and a body weight of 38.4-73.9 g. The specific growth rates of total length and body weight of the juveniles were 0.50% and 1.12%, respectively.

Key words: Pacific cod, *Gadus macrocephalus*, East Sea population, Egg development, Juvenile growth

서 론

대구 (*Gadus macrocephalus*)는 한국 동해, 서해, 일본 오후츠크해, 베링해에서 미국 오리건주 외해에까지 분포하며, 주로 수온 5-12°C의 수심 45-450 m되는 북방의 한랭한 깊은 바다에 군집해서 사는 어류로 동해계군과 서해계군의 2개의 계군으로 구분된다. 서해계 대구는 동해계에 비하여 크기가 작아 보통 38 cm 내외이고 동해계는 보통 68 cm 내외로 최소성숙장은 동해계가 ♂ 58 cm, ♀ 62 cm이고 서해계는 ♂ 32 cm, ♀ 38 cm이다. 동해계 대구는 시베리아연해에서 함경남북도, 강원, 경북연해에 분포하다가 1-2월 사이에 진해만으로 모여들어 산란하며 산란이 끝나면 다시 북쪽의 심해로 이동 한다 (Chyung, 1977). 대구를 어획하고 있는 어업으로는 연안유자망, 동해기선저인망, 동해구트롤, 대형기선저인망쌍끌이 등이 있다. 연도별 어획비율의 변동추이에서 대형기선저인망쌍끌이의 어획비율은 감소한 반면, 연안유자망의 어획비율이 증가하고 있으며, 최근에는 자망에 의한 어획비율이 약 70%로 대부분을 차지하고 있다 (Lee et al., 2006). 대구의 어획량은 1982년에 4,462톤으로 정점을 기록하였으나 그 이후 감소하여 1990년대에는 약 500톤 수준으로 아주 낮은 어획수준을 보였다. 그러나 2000년부터 1,000톤 이상으로 증가하여 최근 2006년에는 6,810톤으로 최고치의 어획수준을 보이고 있다. 이처럼 급격히 증가된 자원의 지속적 유지를 위해서는 채포금지제, 기간 등의 규정으로 미성숙치어 및 포란한 친어들의 남획

을 방지하고 본 연구와 같은 중요생산에 관한 구체적인 연구가 많이 이루어져 대량중요생산에 의한 자원조성사업이 요구된다고 하겠다. 한편 우리나라 대구에 대한 연구는 Park (1965)의 진해만 대구와 서해안 대구의 계군에 관한 연구, Chung and Kim (1971)의 서해산 대구의 체장, 체중의 상관관계에 관한 연구, Gong et al. (1991)의 북태평양 대구의 근연관계에 관한 연구, Lee et al. (2005)의 한국 동해안 대구의 성숙과 산란에 대한 연구가 있으며 본 연구는 우리나라 동해계군에 속하는 대구의 중요생산기술개발을 위한 수온별 난발생 과정과 자치어의 성장에 관해 조사하였다.

재료 및 방법

채란 및 수정

실험에 이용된 친어는 강원도 주문진 남해항 연안의 정치망에서 어획된 성숙된 자연산 어미대구를 활어상태로 경상북도 수산자원개발연구소로 수송하여 바로 채란에 이용하였다. 수정은 성숙된 암컷의 복부를 눌러 복강 내 난을 모두 방출시켜 곧바로 수컷의 정액을 뿌려주어 건식법으로 인공수정하였다. 수정 10분 후 여과망 (100 μm)에 수용하여 여과해수로 여러 차례 세란작업을 거쳐 정액과 찌꺼기 등을 제거하여 부화수조에 수용하였다. 중요생산을 위한 수정란 관리는 알이 빠져나가지 않게 망사로 처리한 플라스틱사각용기 (36×46 cm)에 개당 100 g씩 수용하여 FRP사각수조 (4t)에 띄워 놓고, 용기 위에서 해수를 살수해 주었다. 수정란은 약한 점착성을 가지고 있어 서로 뭉쳐지는 경향이 있어 수시로 붓으로 난을 골고루

*Corresponding author: ppang87@hanmail.net

분산시켜주어 부화까지 관리하였다.

난 발생 과정

수정란의 발생 과정은 2006년 2월 22일 어획된 ♀ 12.3 kg와 ♂ 12 kg의 어미로부터 채란된 수정란을 자연수온인 $9 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 에서 수정 후부터 부화 시까지 발생단계별로 조사하였다. 수정률, 난경크기 및 난 발생 과정은 현미경 (E600, Nikon)과 만능투영기 (PJ-3000, Mitutoyo)를 이용하였다. 수온별 난 발생 속도와 부화율을 구하기 위해 항온기에 3, 6, 9, 12, 15°C 의 5개의 온도구를 설정하여 각 실험구마다 수정란 300립 정도씩 수용된 2L 비이커를 3개씩 수용하여 조사하였다. 수온별 발생 속도는 4세포기, 상실기, 배체형성기, 심장박동기, 부화자어를 지표로 하여 발생단계별로 해당단계에 달한 수정란의 비율이 50%가 될 때의 수정 후 경과시간을 조사하였으며 부화율은 자어들이 모두 부화 완료한 후 사란과 부화자어를 계수하여 산정하였다.

자어의 성장

2006년 2월 18일 주문진 앞바다에서 어획된 ♀ 17 kg, ♂ 2.5 kg의 어미와 22일 ♀ 12.3 kg와 ♂ 12 kg 어미로부터 총 3,200 g의 수정란을 얻어 부화까지 관리하여 1,400,000마리가 부화되었다. 부화한 자어들은 15톤 4개 수조에는 수조당 250,000마리, 10톤 2개 수조에서는 각 수조에 200,000마리로 수용하여 톤당 16,000-20,000마리의 밀도로 종묘생산을 시도하였다. 자어의 성장은 6개 수조 중 15톤 1개 수조의 부화 후부터 부화 90까지의 전장을 조사하였다. 사육방법은 부화 후 7일간은 사육수를 지수식으로 유지하였고 그 후 유수식으로 전환하여 4 L/min으로 주수하기 시작하였으며 점차 주수량을 증가시켜 부화 90일째에는 20 L/min로 환수해 주었다.

자어의 안정과 수질안정을 돕고 먹이생물의 영양유지를 위해 *Nannochloropsis oculata*를 부화 45일까지 사육수조에 공급하여 주었다. 난발생과 부화초기의 사육수온은 자연수온인 $9-11^\circ\text{C}$ 를 유지하였고, 부화 45일부터는 조금씩 가온하여 12°C 이상을 지속적으로 유지하였으며, 이 후 자연수온이 점차 높아져 부화 100일째에 15°C 까지 상승하였다. 사육수는 모래여과기와 스키머 (기포정수장치)를 통해 유기물을 제거하였고, 자외선살균기로 살균하였으며, $5 \mu\text{m}$ 카트리지필터로 여과시켜 사용하였다. 먹이는 부화 3일 후부터 55일까지는 *Schizochytrium* sp. 분말제품과 *Pavlova dicryteria* 농축제품으로 영양강화 시킨 로티퍼, *Brachionus rotundiformis*를 8-10개 체/mL를 유지시켜 2회/일 공급하여 주었다. 자어의 사육수온이 10°C 내외로 rotifer 배양온도인 28°C 와는 차이가 있어 rotifer가 그대로 먹이로 공급되었을 시 활력저하로 바닥에 가라앉아 먹이로 이용되지 못할 경우가 예상되었다. 바닥에 가라앉은 rotifer는 부패되어 수질에 악영향을 주어 자어의 성장과 생존율을 저하시키므로 rotifer를 저온에 적응시킨 후 먹이로 공급하기로 하였다. 그래서 rotifer의 배양온도를 25°C 로 낮추고 영양강화를 20°C 에서 12시간하였고 먹이로 공급하

기 전 15°C 의 여과수로 세척하여 30분간 저온에 적응시킨 후 먹이로 공급하였다. 부화 35일부터 90일까지는 *Artemia nauplii* 유생을 공급하였는데 처음 3일간은 갓 부화한 유생을 공급하였고 이후부터 유화오일인 A1DHASelco (INVE, Belgium)로 영양강화한 후 2회/일 공급하였다. 배합사료는 로티퍼 공급시기인 부화 25일부터 넙치용 초기미립자사료 (Lovelarva, Japan)를 $200 \mu\text{m}$ 부터 공급하였으며 자어가 성장함에 따라 점차적으로 사료의 양과 크기를 증가시켜 주었다. 자어의 성장은 얼음 또는 마취제 (MS-222)를 이용하여 마취시킨 후 만능투영기 (PJ-3000, Mitutoyo)를 사용하여 전장을 측정하였다.

치어의 성장

육상수조에서의 대구치어의 실내사육시험은 2006년 6월 22일부터 2007년 4월 30일까지 312일간 평균전장 3.6 cm의 치어 2,000마리를 1.5톤 PVC 사각수조 4개조에 500마리씩 수용하여 넙치용 부상EP사료 (Woosungfeed Co.)를 공급하여 사육하였다. 사육방법은 하절기에는 냉각기를 가동하여 $15-17^\circ\text{C}$ 를 유지하여 순환여과방식으로 사육하였으며 12월 이후에는 수온이 하강함에 따라 원형수조 (15 t) 1개조에 모두 수용하여 유수식으로 사육하였다. 실험어의 성장은 매 1-2개월 간격으로 전장과 체중을 측정하여 파악하였고 실험 종료시 이들 값으로부터 전장의 일간성장률 (specific growth rate of total length: SGRL)과 체중의 일간성장률 (specific growth rate of body weight: SGRW)을 산정하였다.

$$\text{SGRL}(\%) = \{[\ln \text{ final mean length (cm)} - \ln \text{ initial mean length (cm)}] / \text{rearing days}\} \times 100.$$

$$\text{SGRW}(\%) = \{[\ln \text{ final mean body wt (g)} - \ln \text{ initial mean body wt (g)}] / \text{rearing days}\} \times 100.$$

먹이급여량은 순환여과방식에서는 수질악화가 우려되어 2회/일 만복량의 70%만 공급하였고, 이 후 유수식 사육에서는 3회/일 만복될 수 있는 충분한 양을 공급해 주었다.

결 과

난 발생

대구 수정란은 구형의 약한 점착성을 가진 침성점착란으로 난경이 1.01-1.09 mm (평균 1.03 mm)였으며 수정률은 72.4%를 나타내었다. 자연수온 $9 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 에서의 난 발생 과정은 다음과 같다. 수정 난 (Fig. 1A)은 수정 후 난황과 난막이 분리되어 배반용기가 시작되어 배반이 형성되었고 (Fig. 1B), 수정 후 3시간 30분에는 2세포기로 이행하였으며 (Fig. 1C), 수정 후 6시간에는 4세포기로 이행하였다 (Fig. 1D). 수정 후 8시간에는 8세포기로 이행하였으며 (Fig. 1E), 이후 계속 발생이 진행되어 수정 후 14시간에 상실기로 이행하였다 (Fig. 1F). 수정 후 26시간에는 포배기로 진행하였고 (Fig. 1G), 수정 후 50시간에는 낭배기로 진행하였다 (Fig. 1H). 수정 후 72시간에는 배체가 형성하였고, 안포가 형성되었다 (Fig. 1I). 수정 후

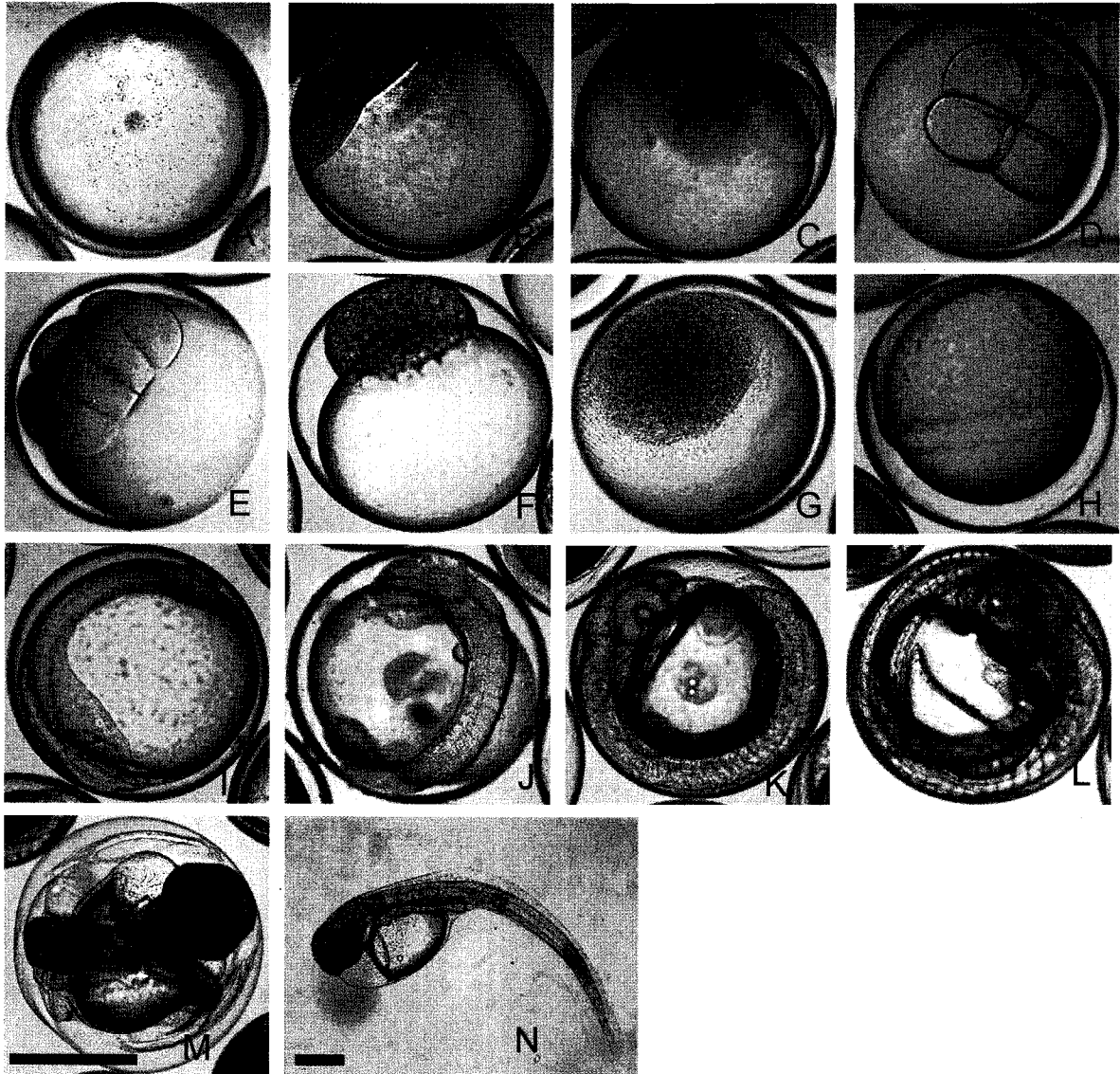


Fig. 1. Egg cleavage and embryonic development of the Pacific cod *G. macrocephalus* at water temperature of $9 \pm 0.5^\circ\text{C}$. A, fertilized egg (1.03 mm); B, formation of germ band; C, 2cells stage (3.5 hr); D, 4 cells stage (6 hr); E, 8 cells stage (8 hr); F, morula stage (14 hr); G, blastula stage (26 hr); H, gastrula stage (50 hr); I, formation of embryo (72 hr); J, Kupffer's vesicle (96 hr); K, heart beat (144 hr); L, appearance of melanophore on the eye (192 hr); M, just before hatching (240 hr); N, newly-hatched larva (4.1 mm). Scale bar: 500 μm .

96시간에는 이포와 쿠포씨포, 근절이 형성되기 시작하였으며, 이 때 근절수는 9-11개였다 (Fig. 1J). 수정 후 144시간에는 안포에 렌즈, 이석, 심장이 분화하여 박동하는 것이 관찰되었고, 두부와 꼬리 쪽에 흑색소포가 나타났으며, 꼬리에 막지느러미가 형성되었으며 난황에서 분리되기 시작하였다. 근절수는 23-25개였다 (Fig. 1K). 수정 후 192시간 (8일)에는 눈에 색소포가 착색되었고, 흑색소포는 몸 전체의 3/5까지 분포하는데 특히하게도 3/5과 4/5지점에서 흑색소포가 띠를 이루듯 출현하였다 (Fig. 1L). 수정 후 240시간 (10일)에는 눈에 색소포와 흑색소포가 몸 전체에 더욱 농밀하게 출현하였고, 막지느러미가 분화되어 부화 직전에 달하였다 (Fig. 1M). 대구 수

정란은 수정 10일 만에 부화하였으며 부화 직후 자어는 전장 3.95-4.25 mm (평균 4.10 mm, $n=10$)로 입은 열려있지 않았고, 몸에 난황을 가지고 있었으며, 항문과 꼬리 쪽에 흑색소포가 띠 모양으로 발달해 있었다 (Fig. 1N).

수온별로 각 발생단계에 이르기까지의 평균소요시간 및 부화율을 Table 1에 나타내었다. 상실기까지의 발생은 3°C 에서 27시간, 6°C 에서는 18시간, 9°C 에서는 14시간, 12°C 에서는 12시간이 소요되었다. 부화까지의 평균소요시간은 3°C 에서는 600시간, 6°C 에서는 360시간, 9°C 에서는 240시간, 12°C 에서는 192시간이 소요되어 수온이 높을수록 발생단계별 소요시간이 짧아지는 경향을 보였다. 그러나 15°C 에서는 배반형성

Table 1. Comparison of time to reach distinguished developmental stage after fertilization of the Pacific cod *G. macrocephalus* by the raise of water temperature

Developmental stage	Water temperature (°C)				
	3	6	9	12	15
4-cell	9	7	6	5	Dead
Morula	27	18	14	12	"
Formation of embryo	168	96	72	60	"
Heart beat	360	216	144	120	"
Hatching	600	360	240	192	"
Hatching rate (%)	60.2	68.9	62.5	40.6	"

도중 수정란이 모두 죽어 발생이 진행되지 않았다. 수온별 부화율은 3°C에서는 60.2%, 6°C에서는 68.9%, 9°C에서는 62.5%, 12°C에서는 40.6%를 나타내어 6°C에서 가장 높은 부화율을 나타내었다. 이상의 결과를 그림으로 나타내었을 때, 수온별 발생속도는 직선함수적 관계를 나타냈다 (Fig. 2). Fig. 2에서 X축은 수온, Y축은 시간의 역수를 나타내고 있으며, 이로부터 얻어진 수온 (T: °C)과 발생 단계별 소요 시간 (t: hr)의 관계식은 4세포기 (4 cell)에서 $1/t=0.0097T+0.0825$ ($r^2=0.9963$), 상실기 (morula) 때에는 $1/t=0.0052T+0.0231$ ($r^2=0.9909$), 배체형성기 (formation of embryo)에는 $1/t=0.0012T+0.0028$ ($r^2=0.9888$), 심장박동기 (heart beat)에는 $1/t=0.0006T+0.0009$ ($r^2=0.9917$), 부화자어기 (hatching)에는 $1/t=0.0004T+0.0005$ ($r^2=0.9971$)로 나타났다. 이들 관계식을 기초로 Y축의 값이 0일 때 회귀직선이 X축에 접하는 수온, 즉 대구의 초기발생에 있어서 난 발생이 정지하는 생물학적 영도 (biological minimum temperature)는 평균 -3.6°C로 산정되었다.

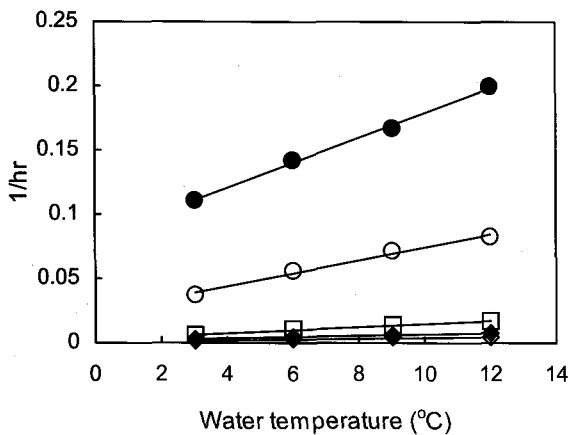


Fig. 2. Relationships between water temperature and time required to each development stage after fertilization of Pacific cod, *G. macrocephalus*. T, water temperature; t, hour. Symbol ● represents 4-cell stage by $1/t=0.0097T+0.0825$ ($r^2=0.9963$), ○ represents morula by $1/t=0.0052T+0.0231$ ($r^2=0.9909$), □ represents formation of embryo by $1/t=0.0012T+0.0028$ ($r^2=0.9888$), ◆ represents heart beat by $1/t=0.0006T+0.0009$ ($r^2=0.9917$), and ◇ represents hatching by $1/t=0.0004T+0.0005$ ($r^2=0.9971$).

자치어의 성장

부화자어에서부터 부화90일까지의 전장과 수온의 변화를

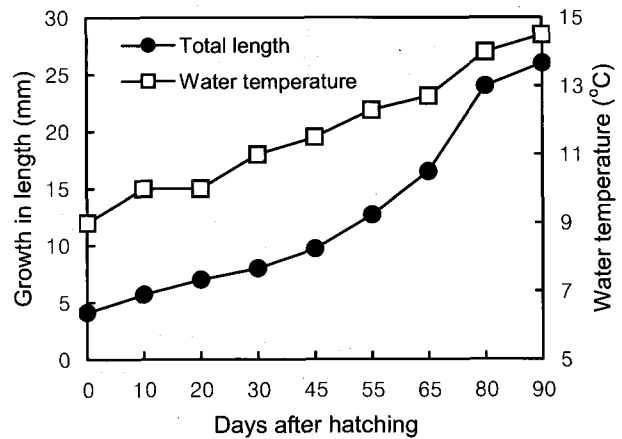


Fig 3. Changes of water temperature and growth in length of the Pacific cod *G. macrocephalus* for 90 days after hatching.

그림으로 나타내었다 (Fig. 3). 갓 부화한 대구자어의 전장 3.95-4.25 mm (평균 4.10 mm)로 입은 열려있지 않았고 움직임이 없이 중층에 떠 있었다. 부화 3일 후 입이 열려 부화 4일 후 난황이 다소 잔존한 상태에서 rotifer (*B. rotundiformis*)를 포식하기 시작하였고 5일째 이 후부터 난황이 모두 흡수되고 다량의 rotifer를 포식하였다. 부화 11일째는 5.46-5.99 mm (평균 5.71 mm)로 성장하였고 6개 수조 중 10% 이하 생존 1개 수조, 30% 생존이 1개 수조, 나머지 수조는 70-80% 정도가 생존한 것으로 추정되었다. 부화 20일째는 6.38-7.79 mm (평균 6.96 mm)의 전장을 나타내었고 부화 25일째에 배합사료를 공급하여 사료 섭취개체가 일부 관찰되었으나 사료의 영향으로 수조 내 수생균이 자주 발생되어 배합사료 공급을 중지하였다. 부화 30일째는 7.12-8.43 mm (평균 7.96 mm)로 성장하였으며 부화 35일째에 *Artemia nauplii*를 처음으로 공급을 시작하였는데 공급 3일째부터 전체적으로 자어의 폐사가 다량 발생하여 공급을 중지하였다. 자어들은 장내 *Artemia*가 가득 찬 상태로 바닥에 가라앉아 죽었다. 부화 10일째의 초기감모 이 후부터는 전체적으로 소량의 감모만 발생하였는데 *Artemia* 공급 이후 평소보다 많은 감모가 발생한 것이다. 부화 45일째는 9.42-10.06 mm (평균 9.71 mm)로 성장하였으며 *Artemia*의 공급을 재개하여 공급량을 극소량으로 한정하여 3일간 주었는데 자어의 폐사가 거의 없었으며 체색이 점점 얼어지면서 성장이 빨라져 공급량을 늘렸다. 이 시기에 배합사료공급을 재개하였으나 종전과는 달리 배합사료를 섭취하는 개체가 거의 발견되지 않았다. 부화 55일째는 전장 10.9-14.4 mm (평균 12.67 mm)를 나타내었으며 부화 65일째는 14.5-18.9 mm (평균 16.54 mm)로 성장하였고 점차 폐사량이 늘어났다. 부화 80일째는 20-26 mm (평균 23.7 mm)로 부화 90일째는 23-32 mm (평균 26.2 mm)로 성장하였다. 부화 100일째에 평균전장 30 mm의 치어 100,000마리가 생산되어 종묘생산의 생존율은 7.1%를 나타내었다.

치어의 성장

2006년 6월 22일부터 2007년 4월30일까지 312일간 평균전장 3.6 cm의 대구 치어를 순환여과방식의 PVC 수조 (1.5 t) 4조에서 사육한 결과 7월 26일에는 5.1-8.1 cm (평균 6.4 cm)로 성장하였고 9월 8일에는 전장 6.8-9.7 cm (평균 8.3 cm), 체중 2.11-6.41 g (평균 4.10 g)을 나타내었다 (Fig. 4). 10월 15일에는 전장 8.5-11.0 cm (평균 9.82 cm), 체중 3.83-9.8 g (평균 6.88 g)로 12월 15일에는 전장 10.0-15.5 cm (평균 12.4 cm), 체중 8.14-31.45 g (평균 16.29 g)로 성장하여 점차 개체간 성장차이가 많아졌다. 그리고 12월부터는 수온이 하강함에 따라 순환여과방식에서 원형대형수조 (10 t)로 사육수조를 바꾸어 유수식으로 사육하였는데 이후로 전장에 비해 체중이 급격히 늘어나 2007년 2월 7일에는 전장 13.0-18.0 cm (평균 15.3 cm), 체중 14.9-64.9 g (평균 45.4 g)로 성장하였다. 그리고 실험 종료일인 4월 30일에는 전장 14.7-20.1 cm (평균 17.4 cm), 체중 38.4-73.9 g (평균 56.5 g)를 나타내어 전장의 일간성장률 (SGRL)은 0.50%로 체중의 일간성장률 (SGRW)은 1.12%로 나타났다.

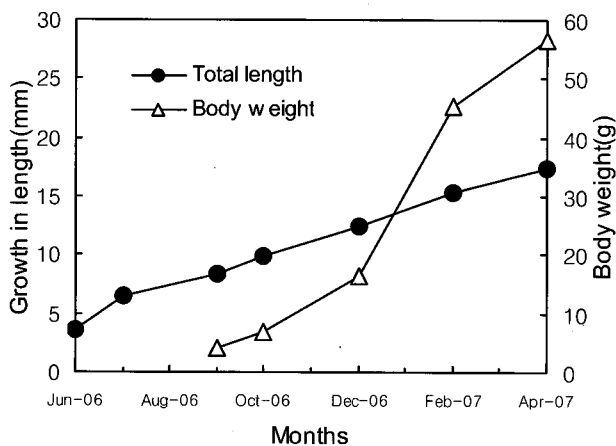


Fig 4. Growth in length and body weight of the Pacific cod *G. macrocephalus* during the experimental period.

고찰

2월에 어획된 대구어미의 알은 투명하고 연한 노란색을 띄었으며 약간의 복부의 압력에도 난이 복강 밖으로 유출되는 산란 중의 상태로 동해안 대구의 산란기는 12-3월, 주산란기는 1-2월로 추정된 Lee et al. (2005)의 보고와 같았다. 대구의 난경은 1.01-1.09 mm (평균 1.03 mm)로 Lee et al. (2005)의 동해안 대구의 완숙란의 난경 0.80-1.10 mm와 같은 결과를 나타내었으며 산란기인 1월중 진행만 대구 (Myoung, 2003)의 평균난경 1.08-1.18 mm (평균 1.14 mm)보다는 약간 작았다. 어류 인공종묘생산시의 환경요인 중 수온은 어류의 난발생과 자치어의 발육에 영향을 미치는 가장 중요한 환경적 요인 중의 하나이다 (Hokanson et al., 1973; Gunnes, 1979; Herzig and Winkler, 1986). 일반적으로 낮은 사육수온은 발생의 속도를 지연시키고 높은 사육수온은 발생속도를 가속화시킨다.

난의 발생이 잘 진행되고 정상적인 부화를 시킬 수 있는 서식 수온과 인위적 수온의 범위는 각 어종에 따라 다양하다. 따라서 어류는 각 어종 특유의 생활사와 생태적인 특징에 의존되어 정상적인 발생을 위한 적정수온범위를 가지게 된다 (Rana, 1990). 이 연구에서도 3°C에서 600시간, 6°C에서 360시간, 9°C에서 240시간, 12°C에서 192시간 만에 부화하여 수온이 높을수록 부화에 소요되는 시간은 짧았다. Iwai and Kashiwagi (1989)은 부화 최적수온은 대체로 자연산란 시기의 수온과 일치한다는 의견을 제시하였는데 본 연구에서도 자연수온에 가까운 6°C에서 68.9%, 9°C에서 62.5%의 높은 부화율을 나타내었고 자연수온보다 높은 12°C에서는 부화율이 40.6%로 현저히 떨어졌고 15°C에서는 발생이 진행되지 않았다. 그러나 3°C의 아주 낮은 온도에서는 발생이 원활히 진행되어 낮은 온도보다는 높은 온도에 수정란이 적응하지 못하였다. Lee et al. (1997)는 참가자미의 경우 난 발생이 정지하는 생물학적 영도는 2.6°C로 산정되었으나 수온 6°C에서 8세포기 이후의 난발생은 실험개시 후 100시간까지 관찰되지 않았다고 보고하였다. 대구의 경우에서도 생물학적 영도는 -3.6°C로 산정되었으나 수온이 0°C까지 하강할 경우 발생이 매우 느려져서 난발생이 거의 정지된 상태가 장기간 유지되므로 수정란의 폐사가 초래될 수 있다고 생각된다. 본 연구에서 난 발생속도의 관계식은 각 수온별 부화까지의 소요시간을 나타냄으로서 인공종묘생산 시 부화예정시간을 쉽게 산출할 수 있을 것이다. 현재 초기 자어의 먹이 생물로 많이 이용되고 있는 rotifer는 주로 담수산 *Chlorella*나 빵효모를 먹이로 하여 대량생산하지만 이들의 먹이는 고도불포화지방산의 함량이 거의 없기 때문에 이들을 섭취한 rotifer의 n-3계 고도불포화지방산의 함량은 매우 낮다 (Park et al., 1999; Park et al., 2000). 따라서 n-3계 고도불포화지방산의 함량이 높은 지질을 이용한 rotifer의 영양 강화가 반드시 필요하다 (Rainuzzo et al., 1997). Sargent et al. (1999)는 일반적으로 해산 자어에 대한 먹이생물의 최적 DHA/EPA비율을 2:1로 보고하고 있지만 어종에 따라서 이들의 비율은 조금 차이가 있다고 보고하였다. Copeman et al. (2002)은 냉수성 어종인 노랑 가자미의 경우 DHA/EPA의 비율은 7:1로 높은 DHA 함량을 요구하는 것으로 보고하였다. 또한 대구, *Gadus macrocephalus* 자어와 대서양 halibut의 경우, DHA가 이들 어종의 높은 성장과 생존율을 위해서 EPA보다 매우 높게 요구된다고 보고된 바 있다 (Zheng et al., 1996; Evjemo et al., 2003). Park and Brown (2004)은 DHA의 요구량이 매우 높은 냉수성 어류를 대상으로 먹이로 공급될 경우 본 연구에 이용된 *Schizochytrium* sp. 분말제품보다는 DHA/EPA의 비율이 11:1로 매우 높은 *Cryptocodium* sp.로 구성된 분말건조세포제품인 Advantage+*Chlorella*가 rotifer의 영양강화제로 적합하다고 보고하고 있어 차후 이 영양강화제를 이용한 대량종묘생산 시험도 필요하다고 생각된다. 또한 rotifer의 저수온 적응 후 먹이공급은 rotifer의 활력유지에 도움이 되었으며 다른 냉수성어종의 종묘생산에서도 이용가능하다고 하

졌다. 대구는 종묘생산기간 중 *Artemia* 공급초기에 대량폐사하여 종묘생산을 실패하는 사례가 많이 알려져 있다. 본 실험에서도 부화 35일에 *Artemia nauplii*를 공급하고 난 후 3일 만에 대량감모가 발생하였는데 폐사된 대부분의 자어들은 *Artemia*가 장내에 가득 찬 상태로 바닥에 가라앉아 있었다. 이것은 조기에 너무 많은 량의 *Artemia*를 공급하여 자어들이 잔뜩 포식하여 제대로 소화할 수 없게 되어 가라앉아 폐사하는 것으로 추정되었다. 이 후 부화 45일째에 공급을 재개했을 때는 자어들의 체색이 얼어지고 활력도 좋아져 공급량을 늘려 부화 54일경부터는 *Artemia*가 수조 내에 항상 잔존하게 유지하여도 폐사가 발생되지 않았다. *Artemia*의 공급시기 및 공급량은 대구 종묘생산의 성패를 좌우하는 가장 중요한 요인으로 생각되며 이 연구에서는 부화 45일째에 전장 9 mm 이상에서부터 *Artemia*를 소량씩 공급하는 것이 적당하다고 판단된다. 부화 70일째부터는 체색이 검어지고 어체가 야위어지며 죽는 개체들이 다수 발견되었는데 이는 *Artemia*로는 더 이상 자어의 성장에 필수적인 영양의 공급이 한계에 달한 것으로 생각되었다. 영양공급을 위해 냉동된 천연 Copepoda와 *Artemia* 성체를 해동시켜 소량씩 공급하여 주었으나 자어들은 잘 먹지 않았다. 차선책으로 매시간 공급하던 배합사료의 공급시간을 30분 간격으로 줄이고 *Artemia*의 공급량을 감소시켰더니 부화 80일경부터 사료섭이개체가 점차 증가하여 부화 90일경 사료불임이 완료되어 *Artemia* 공급을 종료하였다. 대구는 다른 양식 종에 비해 배합사료 먹이불임이 상당히 까다로운 종이라 할 수 있으며 대량종묘생산 시 적절한 사료불임을 위해서는 부화 25일 이내에 조기에 배합사료가 꾸준히 공급되어야 할 것으로 생각되며 이에 따른 사육수질 관리대책도 강구되어야겠다. 치어들의 사육실험에서 전장의 성장은 지속적으로 완만한 성장을 나타내었으나 체중은 유수식 사육을 시작한 12월 이후 급격히 증가하는 양상을 나타내었다. 이것은 종 특성에 의한 차이라

기보다는 사육환경의 차이에 의한 것으로 생각되며 일정한 수온이 유지되더라도 순환여과방식보다는 수질환경이 더 좋은 유수식 사육이 치어의 성장에 더 적절한 것으로 사료된다. 사육기간 중 대량폐사는 나타나지 않았으며 치어들 중 안구돌출, 체색흑화 등의 외부증상과 함께 체형이 야위어지면서 두부가 위로 꺾여져서 기형적으로 성장되는 개체가 소량 관찰되었다. 이러한 개체들은 치사율은 높지 않았지만 인위적인 환경과 영양의 공급으로 성장한 치어들이 필수영양소의 결핍, 스트레스 등으로 어체가 약화되어 발생된 것으로 생각된다. 대구는 연중 사육수온을 저온으로 관리하여야 하고 성장이 비교적 느려 양식산업화 할 수 있는 종이라고는 생각되지 않으나 종묘생산에 의한 자원조성 품종으로는 적절하다고 판단되며 본 연구에서는 3 cm급 종묘 100,000마리가 생산되어 생존율 7.1%를 나타내 대량생산의 가능성을 충분히 보였다고 생각된다.

참 고 문 헌

- Chyung, M.K. 1977. The Fishes of Korea. Iljisa, Seoul, 1-727.
- Chung, T.Y. and Y.U. Kim. 1971. Length-weight relationship of *Gadus macrocephalus* Tilesius of the Yellow Sea. Bull. Kor. Fish. Soc., 4, 103-104.
- Copeman, L.A., C.C. Parrish, J.A. Brown and M. Harel. 2002. Effects of docosahexaenoic, eicosapentaenoic and arachidonic acids on the early growth, survival, lipid composition and pigmentation of yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*): a live food enrichment experiment. Aquaculture, 210, 285-304.
- Evjemo, J.O., K.I. Reitan and Y. Olsen. 2003. Copepods as live food organisms in the larval rearing of halibut larvae (*Hippoglossus hippoglossus* L.) with special emphasis on the nutritional value. Aquaculture, 227, 191-210.
- Gong, Y., Y.C. Park and S.S. Kim. 1991. Study on the management unit of fisheries resources by genetic method. 1. Genetic similarity of Pacific cod in the North Pacific. Bull. Natl. Fish. Res. Dev. Inst., 45, 47-58.
- Gunnes, K. 1979. Survival and development of Atlantic salmon eggs and fry at three different temperature. Aquaculture, 16, 211-218.
- Herzig, A. and H. Winkler. 1986. The influence of temperature on the embryonic development of three cyprinid fishes, *Abramis brama*, *Chalcalburnus chalcoides mento* and *Vimba vimba*. J. Fish. Biol., 28, 171-181.
- Hokanson, K.E.F., J.H. McCormick and B.R. Jones. 1973. Temperature requirements for embryos and larvae of the northern pike, *Esox lucius* (Linnaeus). Trans. Am. Fish. Soc., 102, 89-100.
- Iwai, T. and M. Kashiwagi. 1989. Development and hatching control. In: Reproductive Biology of Fish and Shellfish. Takashima, F. and I. Habu, eds. Rosshobo, Tokyo, 195-237.
- Lee, J.Y., W.K. Kim and Y.J. Chang. 1997. Influence of water temperature and salinity on egg development of Flatfish, *Limanda herzensteini*. J. Aquacult., 10, 357-362.
- Lee, C.S., Y.H. Hur, J.Y. Lee, W.K. Kim, S.H. Hong, S.J. Hwang and S.H. Choi. 2005. Maturity and spawning of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in the East Sea. J. Kor. Fish. Soc., 38, 254-250.
- Lee, D.W., Y.H. Kim, J.K. Kim, J.H. Choi, S.T. Kim, D.S. Chang, J.T. Yoo, Y.M. Choi and S.G. Jeong. 2006. Year 2006 monitoring report of fisheries

- regulation for aquatic plants and animals species. National Fisheries Research and Development Institute, 1-164.
- Myoung, J.G. 2003. Efficient Increase Measures of Pacific Cod Resource. Gyeongsangnamdo, Changwon, 1-82.
- Park, B.H. 1965. On the race of cods (*Gadus macrocephalus* Linnaeus) between Yellow Sea and Chin Hae Bay of Korea. Fisheries Resource Report of the Fish. Res. Dev. Agency, 6, 107-115.
- Park, H.G., S.K. Kim, K.Y. Park and Y.J. Park. 1999. High density cultivation of rotifer, *Brachionus rotundiformis* in the different diets. J. Kor. Fish. Soc., 32, 280-283.
- Park, H.G., K.W. Lee, S.K. Kim, S.M. Lee, J.H. Lee and Y.S. Lim. 2000. Dietary value of rotifer fed on the different diets in high density culture for flounder larvae, *Paralichthys olivaceus*. J. Kor. Fish. Soc., 33, 93-97.
- Park, H.G. and J.A. Brown. 2004. Biochemical composition of rotifer, *Brachionus plicatilis* enriched with different commercial enrichments. J. Aquacult., 17, 187-196.
- Rana, K.G. 1990. Influence of incubation temperature on *Oreochromis niloticus* (L.) eggs and fry. I. Gross embryology, temperature tolerance and rates of embryonic development. Aquaculture, 87, 165-181.
- Rainuzzo, J.R., K.I. Reitan and Y. Olsen. 1997. The significance of lipids at early stages of marine fish: a review. Aquaculture, 155, 103-115.
- Sargent, J., J.G. Bell, L.A. McEvoy, D. Tocher and A. Estevez. 1999. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish. Aquaculture, 177, 191-199.
- Zheng, F., T. Takeuchi, K. Yosheda, M. Kobayashi, J. Hirokawa and T. Watanabe. 1996. Requirement of larval cod for arachidonic acid, eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid using by their enriched *Artemia nauplii*. Nippon Suisan Gakkaishi, 62, 669-676.

2007년 9월 5일 접수
2007년 11월 20일 수리