

## 태평양 대구 *Gadus macrocephalus* 채란, 부화 및 자어 성장에 미치는 수온의 영향

이정용\*, 이채성, 김완기, 박상언, 민병화  
국립수산과학원

### Effects of Water Temperature on Egg Development, Hatching and Larval Growth Rearing of the Pacific Cod *Gadus macrocephalus*

Jeong Yong Lee\*, Chae-Sung Lee, Wan Ki Kim, Sang Un Park and Byung Hwa Min  
National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea

We investigated egg collection and the effects of water temperature (4, 7, 10, 13 and 16°C) on egg development, hatching and larval growth of Pacific cod *Gadus macrocephalus* under laboratory conditions. Fertilized eggs were round in shape (1.01±0.03 cm) and adhesive to nylon nets. Fertilization rate was 68% by wet method. The time of egg development was negatively proportional to water temperature with the range of 4°C to 13°C. Eggs hatched only at 7°C after 288 hours of fertilization and 10°C after 192 hours. Hatching rate was highest as 65% at 7°C followed by 34.4% at 10°C. Survival rate was 18.3% at 7°C and 5.2% at 10°C.

**Keywords:** Pacific cod, *Gadus macrocephalus*, Egg collection, Egg development, Hatching, Larva growth

#### 서 론

대구 *Gadus macrocephalus*는 한해성 어종으로 크기가 최고 1 m에 달하며, 우리나라 서해 북부와 동해, 오후츠크해, 베링해, 알래스카 및 북미 캘리포니아까지 광범위한 해역에 분포하고 있다(Westrheim, 1996). 대구는 예로부터 견제품과 알이나 내장으로 담근 젓갈, 탕, 구이, 조림 등 다양한 형태로 소비되고 있는 고급 수산물이며, 주로 기선저인망, 자망, 연승어업 등으로 어획되고 있는 상업적으로 매우 중요한 어종에 속한다(Lee et al., 2005). 대구의 어획량은 1999년에 5,640톤에서 2001년에 10,652톤으로 최대 어획고를 보인 이후 점차적으로 감소하여 2006년에는 2,751톤으로 감소하였다(MOMAF, 2007). 최근 이러한 생산량 감소의 주된 원인은 치어 및 산란치어의 무분별한 남획으로 인한 자원량 감소(Lee et al., 2005)를 들 수 있다. 이에 대하여 최근 대구의 자원 증대를 위한 노력의 일환으로 연안에 수정란을 방류해 오고 있으나, 지금까지 이러한 노력에도 불구하고 그 효과는 극히 미진한 것으로 나타나고 있다. 따라서 대구 자원의 실질적 증대를 위해서는 수정란 방류보다 생존율이 높은 치어를 방류하는 방법이 효과적이라 할 수 있으므로, 이를 위해서는 우선 종묘생산 기술이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 대구의 종묘생산 기술이 확립된다면, 방류용 치어 생산뿐만

아니라 양식도 가능해지므로 대구의 안정적인 공급이 이루어 질 것으로 판단된다.

종묘생산 기술을 개발하기 위해서는 번식생리학적 측면의 기초연구가 우선시 되어야 할 필요가 있는데, 지금까지 대구에 대해서는 Mutsu Bay산 대구의 포란수가 1,800,000개(체장 60 cm)-4,000,000개(80 cm)로 알려져 있다(Hattori et al., 1995). 또한 Hattori et al. (1993a, 1993b)은 북해도 남부해역에 서식하는 대구의 산란시기를 12-1월로 보고한 바 있으며, 최근 우리나라에서도 동해안 대구의 성숙과 산란에 관한 연구로 인해 주산란기가 1-2월로 밝혀졌다(Lee et al., 2005). 그러나 이 어종의 채란 방법, 난발생 및 자어사육 등 종묘생산에 필요한 실직적인 연구는 거의 없다.

따라서 본 연구는 우리나라 동해안 대구의 종묘생산을 위한 생물학적 기초자료를 얻고자 인공수정, 부화 및 자어 성장 미치는 수온의 영향을 조사하였다.

#### 재료 및 방법

##### 실험어 및 배란·배정 조사

본 연구에서 사용된 대구는 2003년 2월 7일에 동해안의 강원도 주문진과 양양 연안에서 자망을 이용하여 획득한 후 실험

\*Corresponding author: jylee@nfrdi.re.kr

**Table 1.** The body size and GSI of Pacific cod *Gadus macrocephalus*

Female			Male		
Total length (cm)	Body weight (g)	GSI	Total length (cm)	Body weight (g)	GSI
77.5±10.2	5,945.8±3,095.5	24.3±4.7	73.0±7.7	4,181.3±1,226.5	18.0±7.6

GSI: gonadosomatic index.

실로 옮겼다. 이후 암수 각각 10마리를 대상으로 어체의 형태 및 생식소중량지수(GSI: 생식소중량/체중×100)를 조사하였으며(Table 1), 복부 압박으로 배란 및 배정에 참가한 개체만을 선별하여 실험에 사용하였다.

**채란·채정 및 수정**

배란 및 배정이 확인된 개체에서 복부압박법으로 채란 및 채정하였다. 획득된 알과 정자는 즉시 습식 인공수정법으로 수정시켜, 세란하였다. 이후 수정률은 100개의 알을 대상으로 조사하였으며, 2세포기 단계까지의 알을 수정란으로 간주하였다.

**난발생**

수온에 따른 난발생 과정을 조사하기 위하여 5개의 원형 수조내 수온을 각각 4, 7, 10(자연수온), 13 및 16°C로 설정하였으며, 수정란은 각각의 수조내 채란틀(25×25 cm)에 수용하여 3반복으로 실험하였다. 만능투영기(V-12B, Nikon, Japan)와 입체현미경(SZH10, Olympus, Japan)를 이용하여 수정부위 부화 시까지 발생단계별관찰 및 소요시간을 조사하였다.

**자어사육**

7°C 및 10°C에서 부화된 자어를 계속적으로 같은 수온의 큰 크리트 사각수조(5톤)에서 사육을 실시하였다. 수용밀도는 실험구별로 10,000마리씩으로 하였다. 부화 4일째부터 로티퍼를 공급하였으며, 30일째부터는 알테미아 및 배합사료를 혼합 공급하였다. 난발생 및 자어사육기간 동안 염분은 33 psu였으며, 광주기는 자연상태로 유지하였다. 자어의 전장은 10일 간격으로 만능투영기를 이용하여 0.1 mm까지 측정하였으며, 생존율은 매일 폐사개체를 파악하여 이로부터 역산하였다.

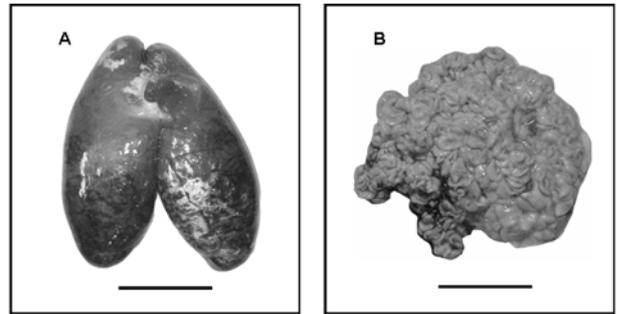
**통계분석**

각 실험결과로부터 얻어진 자료값 사이의 유의차 유무는 SPSS 통계 패키지(version 10.0)에 의한 ANOVA(Tukey's test) 또는 t-test (independent sample)로 검정하였다(P<0.05).

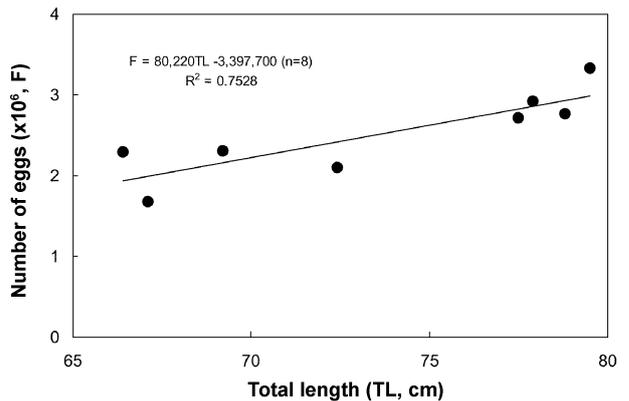
**결 과**

**어미의 GSI 및 생식소의 성숙상태**

실험에 사용된 대부분 암수의 외형은 생식소의 발달로 인해 복부가 팽창해져 있었다. 이들의 GSI는 각각 24.3±4.7과 18.0±7.6으로 나타났다. 배란단계의 난소는 진보라색을 띠며 복강전체



**Fig. 1.** Morphology of ovary (A) and testis (B) of Pacific cod *Gadus macrocephalus* in spawning period. Bar = 10 cm.



**Fig. 2.** Relationship between fecundity and total length of Pacific cod *Gadus macrocephalus* in Feb., 2007.

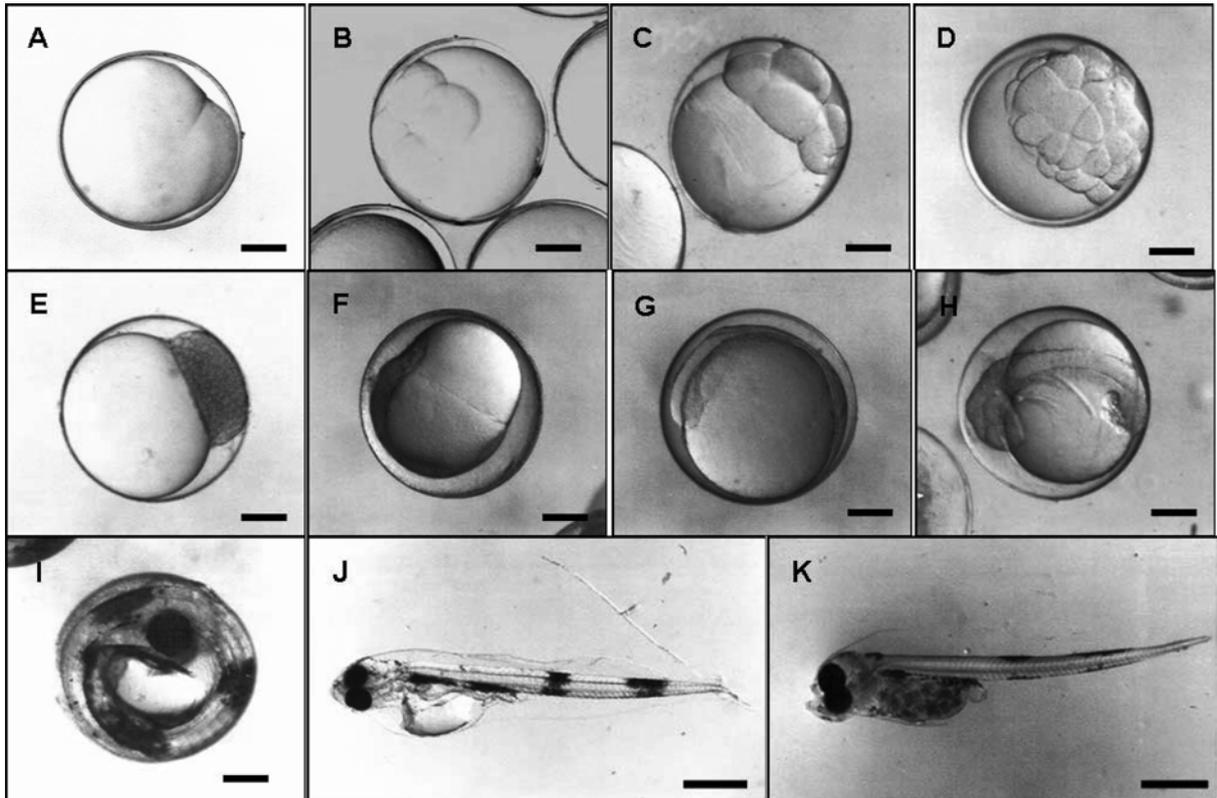
에 충만하게 들어 있었으며, 알 전체가 투명하였다(Fig. 1A). 정소는 외관상 연분홍색을 띠고 있었으며, 유백색의 정액을 관찰할 수 있었다(Fig. 1B).

**채란양 및 수정률**

10마리의 암컷을 복부압박 한 결과, 이중 8마리에서 배란을 확인할 수 있었다. 이들로부터 개체당 평균 250만개 정도의 알을 채란하였으며, 전장(total length, TL)과 채란량(fecundity, F)과의 관계는 F=80,220×TL-3,397,700 (R<sup>2</sup>=0.7528)의 직선회귀식으로 나타났다(Fig. 2). 채란된 알의 직경은 0.90~1.11 mm (1.02±0.03)의 원형 점착란이었으며, 습식 인공수정 방법에 의한 수정률은 68%로 나타났다.

**수온에 따른 난발생 속도**

대구의 난발생 및 부화자어의 발달과정은 Fig. 3에서와 같으며, 수온별로 각 발생 단계에 이르기까지의 소요 시간은 Table 2



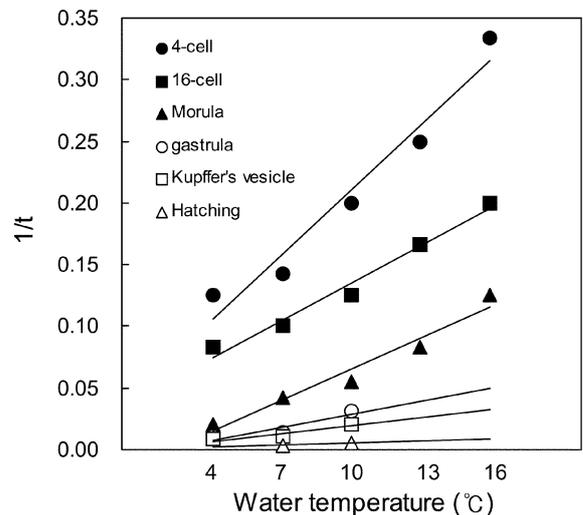
**Fig. 3.** Egg developmental stages and hatching larva of Pacific cod, *Gadus macrocephalus* at 10°C. A, 2-cell stage (2 hours); B, 4-cell stage (5 hours); C, 8-cell stage(6.5 hours); D, 32 cells stage (10 hours); E, morula stage (18 hours); F, gastrula stage (32 hours); G, formation of embryo (40 hours); H, formation of 6~9 myotomes and Kupffer's vesicle (48 hours); I, formation of lens and auditory vesicles; J, newly hatched larva (192 hours); K, 15 days after hatching. Bar = A~I: 250 μm, J~K, 1 mm.

**Table 2.** Relationships between water temperature and time (hours) required to each developmental stages from fertilized egg in Pacific cod *Gadus macrocephalus*

Developmental stages	Water temperature (°C)				
	4	7	10	13	16
4-cell	8	7	5	4	3
16-cell	12	10	8	6	5
Morula	48	24	18	12	8
Gastrula	96	72	32	D	D
Kupffer's vesicle	120	96	48	D	D
Hatching	D	288	192	D	D

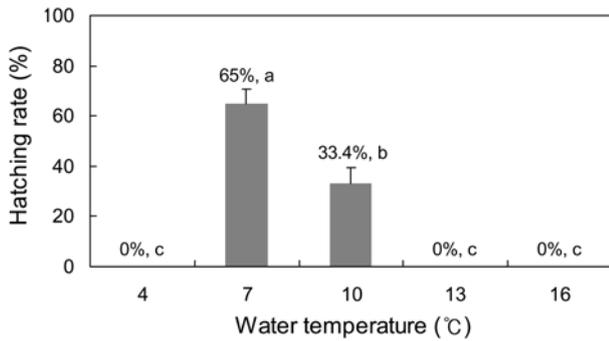
D, Dead egg.

에 나타내었다. 수정란으로부터 상실기까지 도달하는 시간은 16°C에서 8시간으로 가장 빨랐으며, 10°C와 4°C에서는 각각 18시간 및 48시간으로 나타났다. 이후 13°C와 16°C에서는 낭배기에 도달하기 전에 모두 폐사하였으며, Kupffer's 포 출현기까지 소요되는 시간은 10, 7, 4°C에서 각각 48, 96, 120시간이었다. 또한 부화까지는 10°C와 7°C에서 각각 192시간(8일) 및 288시간(12일)이 소요되었으며, 4°C에서는 240시간(10일)째에 배체가 형성되었으나 그 이후로는 발생이 중단되거나 폐사하였다. 이러한 결과를 바탕으로 수온별 발생속도를 직선함수적으로 나



**Fig. 4.** Relationships between water temperature and time (hours) required to each developmental stages from fertilization in Pacific cod *Gadus macrocephalus*.

타내 보면 Fig. 4와 같으며, 이때 X축은 수온, Y축은 시간의 역수를 나타내고 있으며, 이로부터 얻어진 수온(T: °C)과 발생 단계별 소요 시간(t: hour)의 관계식은 다음과 같다.



**Fig. 5.** Hatching rate of the fertilized eggs of Pacific cod *Gadus macrocephalus* at various water temperatures. Each value represents the mean±SD. Different letters indicate significant difference ( $P<0.05$ ).

- 4세포기:  $1/t=0.0175T+0.0356$  ( $R^2=0.9579$ )
- 16세포기:  $1/t=0.0100T+0.0350$  ( $R^2=0.9759$ )
- 상실기:  $1/t=0.0083T-0.0181$  ( $R^2=0.9586$ )
- 낭배기:  $1/t=0.0035T-0.0058$  ( $R^2=0.871$ )
- Kupffer세포 출현기:  $1/t=0.0021T-0.0014$  ( $R^2=0.871$ )
- 부화자어기:  $1/t=0.0006T-0.0006$  ( $R^2=1$ )

이들 관계식에서 Y축의 값이 0일 때 회귀직선이 X축에 접하는 수온, 즉 대구의 초기 발생에 있어서 난발생이 시작하는 생물학적 영도(biological minimum temperature)는 평균  $-0.4^{\circ}\text{C}$ 로 산정되었다.

**부화율 및 자어의 성장과 생존율**

수정란의 수온별 부화율은  $7^{\circ}\text{C}$ 에서 65%로 가장 높았으며,  $10^{\circ}\text{C}$ 에서는 33.4%로 나타났다. 부화 직후의 대구는 입과 항문이 열리지 않은 상태였으나, 3일째에 먼저 입이 열렸으며, 4일째에 항문이 열리는 것으로 관찰되었다. 반면  $4^{\circ}\text{C}$ 와  $13^{\circ}\text{C}$  이상에서는 부화자어를 관찰할 수 없었다(Fig. 5).

이후  $7^{\circ}\text{C}$ 와  $10^{\circ}\text{C}$ 에서 부화한 자어를 사육한 결과, 부화후 1일째 자어의 크기는 모두 4.3 mm였던 것이 40일째에는 각각 7.6 mm 및 8.0 mm로  $10^{\circ}\text{C}$ 에서 성장이 다소 빠른 경향을 보였으나, 유의한 차이는 인정되지 않았다. 반면 생존율은 30일째까지 차이가 없었으나, 40일째에는  $7^{\circ}\text{C}$ 와  $10^{\circ}\text{C}$ 에서 각각 18.3%, 5.2%로  $7^{\circ}\text{C}$ 가 유의하게 높았다(Table 3).

**고 찰**

대구의 산란기에 대하여 Hattoi et al. (1993a)은 일본 북해도 남부연안에서 12~1월로 보고하고 있으며, 캐나다 연안에서 1~3월(Ketchen, 1961), 베링해 및 알래스카만에서 1~4월(Westheim, 1996)인 것으로 볼 때, 위도가 높을수록 산란기가 길고 늦어지는 것을 알 수 있다. 국내에서도 대구의 성숙상태(GSI 및 배란)를 조사한 결과 1~2월이 주산란기로 보고(Lee et al., 2005)되어 있으므로 본 연구가 이루어진 기간이 주산란기로 판단된다.

본 연구에서 배란이 확인된 개체의 생식소에는 0.90~1.11 mm 크기의 완숙란으로만 가득 차 있었고, 또한 이전 연구에서 한 무리의 난모세포만이 연중 발달하는 것으로 확인되는 것으로 볼 때(Lee et al., 2005), 이 어종의 난모세포 발달 양식은 동기 발달형임을 알 수 있다. 동기 발달형에 속하는 어종은 1회 산란하는 습성을 가지므로, 이들 어종은 가자미류, 돛류 등과 같은 비동기 발달형 어종에 비해 다량의 성숙란을 일시에 채란할 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 복부압박법으로 개체(평균전장 77.5 cm)당 평균 250만개의 알을 채란할 수 있었으며, 전장과 채란수와의 관계는  $F=80,220 \times TL-3,397,700$  ( $R^2=0.7528$ )으로 전장이 클수록 채란수는 증가하는 경향을 보였다.

대구 수정란의 성질은 원형의 침성 점착란이었다. 따라서 저자들은 부착기질에 따른 수정란의 부화율을 예비실험을 통하여 조사한 결과, 본 실험에 사용된 그물 채란틀이 FRP 구조조판(전복유생 부착용)에서 보다 더 높은 것으로 나타났다. 이것은 수정란의 부착기질이 부화율에 영향을 미칠 수 있음을 의미하므로, 부화율을 향상시킬 수 있는 부착기질의 구명 또한 대구의 성공적인 종묘생산을 위한 한 방법으로 여겨진다.

대구 수정란의 난할은 동물극쪽으로 이동한 원형질의 용기로 배반이 형성되고 배반이 분열하는 2세포기, 4세포기, 8세포기 및 16세포기로 발달함으로써 경골어류에서 나타나는 전형적인 발생 과정을 나타내었다. 본 연구에서  $10^{\circ}\text{C}$ 는 자연수온으로, 이때 수정란이 부화에 이르기까지의 소요 시간은 192시간(8일)으로 나타났으며,  $13^{\circ}\text{C}$ 와  $16^{\circ}\text{C}$ 에서는 포배기,  $4^{\circ}\text{C}$ 에서는 배체 형성기까지만 발생이 진행되었으며 이 이후로는 발생이 중단되거나 폐사하였다. 따라서 대구의 부화 가능 수온은  $7\sim 10^{\circ}\text{C}$ 로서, 특히 고수온에 약한 것으로 나타났다. 또한  $10^{\circ}\text{C}$ 와  $7^{\circ}\text{C}$ 에서 부화에 이르는 시간은 각각 192시간(8일) 및 288시간(12일)으로

**Table 3.** Size and survival of larva of Pacific cod *Gadus macrocephalus* at  $7^{\circ}\text{C}$  and  $10^{\circ}\text{C}$

Days after hatching	Total length (mm)		Survival (%)	
	$7^{\circ}\text{C}$	$10^{\circ}\text{C}$	$7^{\circ}\text{C}$	$10^{\circ}\text{C}$
1	4.3±0.3	4.3±0.5	100	100
10	4.8±0.5	5.4±0.7	88.5±11.6	84.4±9.8
20	5.7±0.8	6.2±1.3	52.1±14.7	42.6±13.4
30	6.8±1.2	7.1±1.1	30.2±10.2	28.4±7.3
40	7.6±1.4	8.0±1.6	18.3±6.2*	5.2±2.1

Each value represents the mean±SD. Asterisk indicates significant difference ( $P<0.05$ ).

나타나 수온과 난발생 속도는 정상관계를 가지므로, 생체 반응의 온도 의존성에 관한 지표인  $Q_{10}$ 의 법칙에 부합된다고 할 수 있다(Lee et al., 1997). 그러나 부화율은 7°C(65%)가 10°C(33.4%)보다 2배정도 높았는데, 이것은 부화 가능한 최저 수온에서 부화율이 가장 높다는 것으로 해석해볼 수 있다. 따라서 대구의 수정란 부화시 수온을 자연수온보다 2~3°C 정도 낮추어 준다면 비록 부화시간은 다소 길어지나, 부화율은 높아질 것으로 판단된다.

본 연구에서 7°C와 10°C에서 부화자어를 40일 동안 사육한 결과, 전장 성장은 사육 종료시까지 서로 유의한 차이를 나타나지 않았다. 또한 생존율은 사육 10일째 이후로 폐사개체가 급격하게 증가하기 시작하여 20일째에는 각각 약 50%와 40%로 감소하였다. 이 이후로도 생존율은 계속적으로 감소하여 사육 종료시에는 20% 이하로 나타났다. 실험기간동안 낮은 생존율에 대한 가장 큰 원인은 부화 자어의 먹이 섭식(로티퍼)이 제대로 이루어지지 않았기 때문인 것으로 추측된다. 실제로 폐사한 개체의 대부분은 입이 열리지 않은 상태였으며, 이로 인해 외부로부터 먹이를 섭취하지 못하였으며 소화관은 비어 있는 것으로 관찰되었다. 난황흡수와 동시에 입이 열리지 않은 이유는 인공 채란에 따른 난질 저하로 수정란이 정상적인 발생이 진행되지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 이 외에도 먹이생물의 부족, 부적합성 등의 요인도 부화 자어의 먹이 섭식 장애와 관련이 있는 것으로 생각된다. 또한 7°C(18.3%)에서의 사육이 10°C(5.2%)보다 3배정도 생존율이 높았는데, 이러한 이유는 10°C에서 대사 에너지 소비가 7°C보다 많으며, 이때 외부로부터의 에너지원이 정상적으로 공급되지 않았기 때문인 것으로 고찰해볼 수 있다.

이상의 결과를 종합해 보면, 대구의 종묘생산시 난발생 및 자어사육을 위한 적정 수온은 7°C 정도로 판단되며, 앞으로는 부화율을 높이기 위한 수정란의 부착기질 개발과 더불어 초기 자어의 성장과 생존을 위한 최적의 사육환경(먹이생물, 사육밀도, 수온, 광주기, 염분 등)의 탐색이 필요하다고 생각된다.

## 요 약

본 연구에서는 대구 *Gadus macrocephalus*의 종묘생산을 위한 생물학적 기초자료를 제공하기 위하여 수온(4, 7, 10, 13 및 16°C)에 따른 난발생, 자어의 성장 및 생존율을 조사하였다. 복부압박법으로 채란 하였으며, 채란양과 어체의 관계는  $F=80,220 \times TL-3,397,700$  ( $R^2=0.7528$ )이었다. 수정란은 원형의 침성 접착란이었으며, 그 크기는 0.90~1.11 mm였다. 습식법에 의한 수정률은 68%였다. 난발생의 각 단계에 이르기까지의 수온(T: °C)에 따른 발생속도(t: hour)는 수온이 높을수록 빨랐으며, 그 관계식은 다음과 같았다. 4세포기:  $1/t=0.0175T+0.0356$  ( $R^2=0.9579$ ),

16세포기:  $1/t=0.0100T+0.0350$  ( $R^2=0.9759$ ), 상실기:  $1/t=0.0083T-0.0181$  ( $R^2=0.9586$ ), 낭배기:  $1/t=0.0035T-0.0058$  ( $R^2=0.871$ ), Kupffer씨 포 출현기:  $1/t=0.0021T-0.0014$  ( $R^2=0.871$ ), 부화자어기:  $1/t=0.0006T-0.0006$  ( $R^2=1$ ). 또한 대구의 난발생이 개시되는 생물학적 영도는 평균 -0.4°C로 나타났다. 부화가능한 수온의 범위는 7~10°C로 나타났다. 수정란에서 부화까지 소요되는 시간은 7°C와 10°C에서 각각 288시간(12일)과 192시간(8일)이었으며, 이때 부화율은 각각 65.0% 및 33.4%로 7°C에서 3배정도 높았다. 부화자어를 40일간 7°C와 10°C에서 사육하였을 때, 성장에는 차이가 없었으나, 생존율은 각각 18.3% 및 5.2%로 7°C에서 유의하게 높았다. 이상의 결론을 종합해 보면, 대구 종묘생산을 위한 수온은 7°C가 적합하다고 판단된다.

## 참고문헌

- Hattori, T., Y. Sakurai and K. Shimazaki, 1993a. Maturation and reproductive cycle of female Pacific cod in waters adjacent to the southern coast of Hokkaido, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58, 2245-2252.
- Hattori, T., Y. Sakurai and K. Shimazaki, 1993b. Maturity and reproductive cycle based on the spermatogenesis of male Pacific cod, *Gadus macrocephalus*, in waters adjacent to the southern coast of Hokkaido, Japan. *Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stn.*, 42, 265-272.
- Hattori, T., Y. Sakurai and K. Shimazaki, 1995. Fecundity of spawning Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in Mutsu Bay, Japan. *Bull. Tohoku Natl. Fish. Res. Inst. Tohoku Suiken Ho*, 57, 1-5.
- Ketchen, K.S., 1961. Observation on the ecology of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in Canadian waters. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 18, 513-558.
- 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, 245-250.
- MOMAF, 2007. 2006 statistical year book of maritime affairs and fisheries. [http://www.momaf.go.kr/info/statistics/I\\_statistics\\_main.asp](http://www.momaf.go.kr/info/statistics/I_statistics_main.asp).
- 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. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 2092, pp. 390.

원고접수 : 2007년 6월 29일

수정본 수리 : 2007년 11월 22일