

## 양식산 뱀장어 *Anguilla japonica*에 있어서 인공성성숙시기와 번식률과의 상관관계

배준영, 김대중\*, 이정희, 손상규, 이종관  
국립수산과학원 양식연구본부 양식관리팀

### Correlation between Artificial Maturation Season and Reproduction Coefficient in the Cultured Eel *Anguilla japonica*

Jun-Young Bae, Dae-Jung Kim\*, Jung-Uie Lee, Sang-Gyu Son and Jong-Kwan Lee  
Aquaculture Research Team, NFRDI, Busan 619-902, Korea

This study investigated the correlation between artificial maturation season and reproduction coefficient of cultured eel *Anguilla japonica* from May (spring) to next January (winter). The brood stock, female eels (400~600 g) were artificially matured by weekly intramuscular injections of salmon pituitary extracts (SPE, 20 mg/fish) to induce a completion of vitellogenesis. After completion of vitellogenesis, final oocyte maturation and ovulation was induced by injection of  $17\alpha$ ,  $20\beta$ -dihydroxyprogesterone (DHP) at about 2  $\mu\text{g/g}$  body weight. Most fish ovulated 15~18 h following the DHP injection. The ovulated fish were induced to natural spawning or artificial fertilization by the dry method. Males (200~350 g) were received weekly intramuscular injections of human chorionic gonadotropin (HCG) at a dosage of 1 IU/g body weight to induce testicular maturation and spermiation. Seasonal reproduction coefficient which includes the rate of ovulation, buoyancy, fertilization and hatching of eggs in the artificially matured eel during spring to summer (May~July) were significantly higher than the other season, while there were no significant difference among spring and summer ( $P < 0.05$ ). Furthermore, the number of eggs spawned and larvae hatched in the artificially matured eel during spring to summer (May~July) were significantly higher than the other season, while there were no significant difference in spring and summer ( $P < 0.05$ ). These results indicate that artificial maturation by hormone treatment of *A. japonica* was successful only during spring to summer, which is the maturation period in the wild stock in nature. Consequently, it is possible to determine the period of artificially induced sexual maturity by the reproduction coefficient which includes the rate of ovulation, buoyancy, fertilization and hatching of eggs in the cultured eel *A. japonica*.

**Keywords:** *Anguilla japonica*, Cultured eel, Artificial maturation, Reproduction coefficient

### 서론

극동산 뱀장어 *Anguilla japonica*를 포함한 뱀장어과는 강하성(catadromous) 어류로 담수에서 성장 후 해양으로 회유하여 산란한다. 최근 Tsukamoto (2006)는 Mariana 군도 서부해역에 있는 Suruga seamount 서부(14°N, 142°E)에서 갓 부화한(부화 후 2~5일) 전장 4.2~6.5 mm의 pre-leptocephalus를 대량으로 채집하여 유전자 분석(real time polymerase chain reactions)에 의해 *A. japonica*의 유생임을 확인함으로써 이 부근을 산란장으로 추정하고 있다. 또한, 이러한 유생채집 시기와 유생의 이석(otolith) 미세구조를 분석하여 6월에서 7월 사이를 자연계에서 뱀장어의

산란시기로 보고하고 있다(Ishikawa et al., 2001).

뱀장어는 인위적인 사육환경에서는 뇌하수체의 gonadotropins (GTHs) 합성능력이 미흡하여 생식소가 발달하지 않는 것으로 알려져 있고(Nagahama and Yamamoto, 1973), 이러한 당단백질성 GTH는 어류를 포함한 척추동물의 생식소 형성과 발달에 필수적인 것으로 보고되고 있다(Kumar et al., 1997; Ma et al., 2004). 따라서, 암컷 뱀장어의 경우 외재성 GTH 일종인 salmon pituitary extracts (SPE)의 반복주사로 난황형성기 완료와  $17\alpha$ ,  $20\beta$ -dihydroxyprogesterone (DHP)에 의한 최종성숙 및 배란을 유도하였고(Yamamoto and Yamauchi, 1974; Ohta et al., 1996; Adachi et al., 2003; Kim et al., 2006a), 수컷의 경우 human chorionic gonadotropin (HCG)의 반복주사로 배정을 유도하였다(Kim et al., 2006b). 이러한 뱀장어의 인공종묘생산에 관한 연구는 연중

\*Corresponding author: djkim4128@momaf.go.kr

특정한 시기와 상관없이 여러 연구자들에 의해 수행된 결과 뱀장어의 유생(leptocephali) 생산 및 실뱀장어(glass eel)로 변태를 유도하였으나(Tanaka et al., 2001, 2003), 배란이 유도된 암컷의 비율과 배란된 알들의 수정률과 부화율 등은 매우 낮은 것으로 보고하고 있다. 최근 leptocephalus형 유생기간을 거치는 어류인 갯장어(*Muraenesox cinereus*)의 경우 육상사육 수조에서 양성 중인 암수컷은 자연상태와 마찬가지로 동일한 생식소의 변화를 나타내어 7월경에 다량의 수정란을 확보하였다고 보고하였다(加治 등, 2004).

양식산 뱀장어의 경우 여러 연구자들의 결과를 종합해 보면 SPE 투여시기에 따라 SPE 투여횟수의 상이한 차이를 나타낸다(Ijiri et al., 1995; Ohta et al., 1997). 이러한 결과는 계절에 따라 난소에 대한 GTH 반응성 차이 뿐만 아니라 이러한 차이에 의해 번식률(배란율, 수정률 및 부화율)에 영향을 끼칠 것으로 추정된다. 따라서 본 연구는 양식산 뱀장어에 있어서 인위적 성성숙 처리시기에 따른 계절별 번식률을 조사하여 자연산란시기와의 상호관련성을 확인하고, 이를 통해 뱀장어의 적정 인공성성숙시기를 결정함으로써 인공종묘생산을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 실험어 및 사육관리

실험어는 국립수산물과학원 남부 내수면 연구소에서 사육 중인 2.5년생 양식산 뱀장어를 일주일간 1일 5 psu씩 점차적으로 해수에 적응시킨 후, 암컷 뱀장어(400~600 g)와 수컷 뱀장어(200~350 g)를 1000 L 사육수조에 수용하여 3월부터 익년 1월까지(3~5월, 봄; 5~7월, 여름; 9~12월, 가을; 10~1월, 겨울) 각 계절별로 호르몬 처리에 의한 인위적인 성성숙을 유도하였다. 호르몬 처리기간 동안 사육수온은 20±1°C를 유지하였고, 충분한 산소를 공급하였다. 호르몬 처리기간 동안 사료는 별도로 공급하지 않았고, 수조 위에 검정색 차광막을 덮어서 친어가 안정되게 하였다.

### 호르몬 투여

해수순치 완료 후, 실험구별 각 개체들은 1회 호르몬 투여 직전에 ID microchip (φ 2.1×12 mm)을 등근육에 삽입하여 Mini portable reader (HS5900LF, DESTRON Technologies, USA)로 개체를 식별하였다. 실험어에 대한 외재성 호르몬 처리에 있어서 수컷 뱀장어는 Kim et al. (2006b)의 방법에 따라 2-phenoxyethanol (200 ppm)에 마취 후 HCG (1 IU/g body weight/week, Sigma)을 매주 복강에 주사하여 정자형성 및 배정을 유도하였다. 한편, 암컷 뱀장어는 Kim et al. (2006a)의 방법에 따라 Chum salmon (*Oncorhynchus keta*) pituitary powder (i-JARD, Hokkaido, Japan)를 eel's ringer액으로 균질화한 추출액(SPE; 20 mg/fish)을 매주 복강에 주사하여 인위적인 성성숙을 유도하였고, 매주

증체량(WG %, Weight Gain = [(final body weight - initial body weight) / initial body weight]×100) 측정을 통해 성숙도를 결정하였다.

### 배란 및 수정

SPE (20 mg/fish) 주사 10~14주 이후 외관적으로 복부가 팽만한 암컷 뱀장어(WG 20% 이상)는 Ohta et al. (1996)의 방법에 따라 SPE (20 mg/fish)를 복강 내 1회 투여한 후, 2~3일 경과 후 증체량이 32~37%로 증가한 개체를 다시 선별하여 polyethylene canula를 산란관에 삽입하여 난 성숙 상태를 확인한 후, 당일 18시경에 2 µg/g body weight 농도의 DHP를 주사하여 배란을 유도하였다. 한편, HCG (1 IU/g body weight) 주사 6~10주 이후 성숙상태가 양호한 수컷 뱀장어는 복부에 압박을 가해 소량의 정액을 채취하여 정자의 운동성을 확인하였고, 암컷 뱀장어의 배란시기와 맞추어 고농도의 HCG (1000 IU/g body weight)를 주사하여 암컷과 수컷을 각 1:2 비율로 수조에 수용하여 자연산란 및 수정을 유도하였다. DHP 처리 15~18시간 이후, 자연산란에 의해 수정된 수정란을 산란수조의 배수관에 연결된 집란조(60×40×30 cm, 200 µm Müller gauze)를 이용하여 부상란을 수거한 후 메스실린더(1 L)를 이용하여 산란량을 조사하였다. 수거한 부상란은 부화수조(20 L 아크릴 수조)에 수용하여 미량의 산소를 공급해 주었다. 집란조 내 침하란은 사이펀을 통해 메스실린더로 옮긴 후 총중량을 측정하였고, 펄트 리디쉬에 1 g의 난을 취하여 개수를 체크한 다음 침하란 총중량에 대한 비율로 침하란의 개수를 측정하였다. 한편, 자연산란하지 않은 개체들은 복부에 압박을 가해 알과 정액을 각각 채취하였고, 정액은 인공 정장액(artificial seminal plasma, ASP)에 희석하여 인공수정(건조법)을 실시하였다. 이때, 수온은 20±1°C에서 22.5±0.5°C로 조절하였고, 3중 필터(10 µm, 5 µm 및 3 µm)로 여과한 해수를 공급하였다. 각 계절별 수정란의 부상률과 수정률 및 부화율은 Seoka (2003)의 방법에 따라 조사하였고, 이후 부화 유생수와 생존일수를 측정하였다.

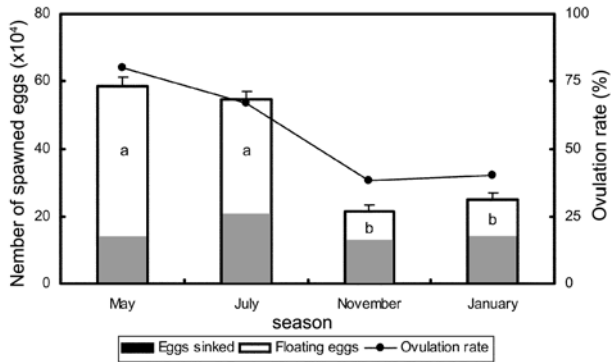
### 통계처리

통계처리는 분산분석 후, Duncan's new multiple range test에 의해서 유의성을 검정하였다( $P<0.05$ ).

## 결 과

### 계절별 배란율과 산란수

각 실험구별 대부분의 암컷 뱀장어는 10~14 주간 SPE (20 mg/fish) 처리에 의해 난황형성이 완료되었고, 이후 상기의 개체들에 대해 DHP (2 µg/g body weight)를 주사하여 배란 및 산란을 유도하였다. 각 계절별 배란율과 산란수는 Fig. 1에 나타내었다. 3월 7일부터 매주 호르몬을 처리한 실험구에서 5월 6일(봄)부터 배란된 개체가 나타났고, 5월 23일까지 총 10마리 중



**Fig. 1.** Annual changes in the number of eggs spawned, the proportion of floating eggs to eggs sunk and the ovulation rate during the artificial maturation periods of *Anguilla japonica* from May 2005 to January 2006. Bar indicates the standard error. Different letters in the squares indicate a significantly different at  $P < 0.05$ .

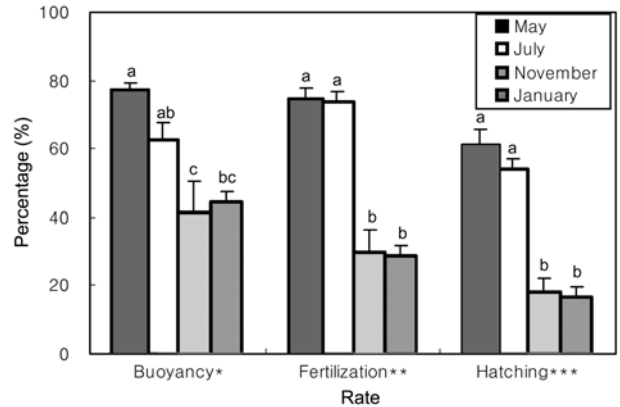
8마리가 배란(80%)하였고, 그 중 3마리가 자연산란하였으며, 배란한 개체들에 대한 평균 산란수는 584,830개였다. 5월 11일부터 인위적으로 성성숙을 유도한 실험구는 7월 3일(여름)부터 배란된 개체가 나타났고, 7월 27일까지 총 9마리 중 6마리가 배란(67%)하였고, 그 중 2마리가 자연산란하였으며, 배란한 개체들에 대한 평균 산란수는 546,370개였다. 9월 26일부터 인위적으로 성성숙을 유도한 실험구는 11월 29일(가을)부터 배란한 개체가 나타났고, 12월 2일까지 총 8마리 중 3마리(38%)가 배란하였고, 배란한 개체들에 대한 평균 산란수는 213,400개였다. 2005년 10월 21일부터 인위적으로 성성숙을 유도한 실험구는 익년 1월 7일(겨울)부터 배란된 개체가 나타났고, 1월 24일까지 총 10마리 중 4마리(40%)가 배란하였고, 배란한 개체들에 대한 평균 산란수는 248,200개였다. 계절별 배란율과 산란수에 있어서 봄과 여름에 산란한 실험구의 채란수가 나머지 계절의 산란수에 비해 유의하게 높았으나, 두 계절간 유의한 차이는 없었다( $P < 0.05$ ).

**계절별 수정란의 부상률과 수정률 및 부화율**

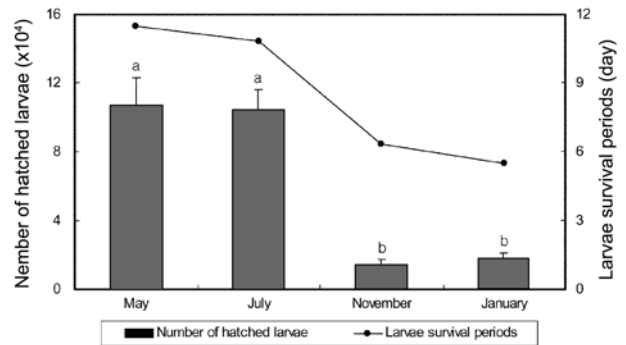
계절별 수정란의 부상률과 수정률 및 부화율을 포함한 번식률에 관한 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 봄에 산란한 수정란의 부상률(76.8±2.7%)이 가을(41.3±8.9%)과 겨울(44.3±3.1%)에 산란한 수정란의 부상률에 비해 유의하게 높았으나, 여름에 산란한 수정란의 부상률(62.7±4.8%)과는 유의한 차이가 없었다( $P < 0.05$ ). 수정률과 부화율은 각각 봄(74.1±3.4%, 60.4±5.5%)과 여름(73.5±3.1%, 54.0±3.2%)이 다른 계절에 비해 유의하게 높았으나, 두 계절간 유의한 차이는 없었다( $P < 0.05$ ).

**계절별 부화유생수와 유생생존기간**

계절별 부화 유생수와 유생의 생존기간은 Fig. 3에 나타내었다. 계절별 부화 유생수에 있어서 봄(평균 106,000 마리)과 여름(평균 104,000 마리)에 산란한 개체들의 부화 유생수가 나머



**Fig. 2.** Rate of buoyancy, fertilization and hatching of eggs during the artificial maturation periods of *Anguilla japonica* from May 2005 to January 2006. Bar indicates the standard error. Different letters on the bars indicate a significantly different at  $P < 0.05$ . \*Buoyancy rate (%)=(number of buoyant eggs/number of ovulated eggs)×100, \*\*Fertilization rate (%)=(number of fertilized eggs/number of buoyant eggs)×100, \*\*\*Hatching rate (%)=(number of hatched larvae/number of buoyant eggs)×100.



**Fig. 3.** Annual changes in the number of hatched larvae and larvae survival periods during the artificial maturation periods of *Anguilla japonica* from May 2005 to January 2006. Bar indicates the standard error. Different letters on the bars indicate a significantly different at  $P < 0.05$ .

지 계절에 산란한 개체들의 부화 유생수에 비해 유의하게 많았으나, 두 계절간 유의한 차이는 없었다( $P < 0.05$ ). 또한 봄(11.55±1.05일)과 여름(10.8±0.83일)에 부화한 유생의 평균 생존기간이 나머지 계절에 부화한 유생의 평균 생존기간에 비해 유의하게 길었으나, 두 계절간 유의한 차이는 없었다( $P < 0.05$ ).

**고 찰**

본 실험에서 외인성 호르몬인 SPE 처리에 의해 인위적으로 난황형성은 유도되었지만, 최종성숙 및 배란은 유도되지 않았다. 따라서, 난황형성이 완료된 개체들에 대해 Ohta et al. (1996)의 방법에 따라 DHP (2 µg/g body weight)를 주사하여 배란 및 산란을 유도하였다. 그 결과, 배란율과 번식률 등에 있어서 인위적으로 성성숙을 유도한 시기에 따라 상이한 차이를 나타내었다. 성숙한 뱀장어에 있어서 DHP가 난성숙 유도 성호르몬

으로 작용하여 배란을 유도할 수 있음을 보고하였으나, 배란된 난의 과숙 및 미숙 등의 문제로 인해 현재까지 수정률과 부화율 등이 저조한 실정이다(Kagawa et al., 1995; Ohta et al., 1996). 이를 위해 DHP 적정처리시기 및 농도 등에 관한 세부적인 연구를 통해 난질을 향상시킬 수 있는 방안을 모색해야 될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 5월과 7월(봄~여름)에 배란된 개체군에 대한 계절별 수정란의 부상률과 수정률 및 부화율을 포함한 번식률이 다른 계절의 개체군들에 비해 높았고, 유생의 생존기간 역시 양호한 것으로 나타났다. 이는 호르몬 처리에 의해 인공성숙이 유도된 양식산 뱀장어(651~1120 g)의 수정란에 있어서 Seoka et al. (2003)이 보고한 부상률(61.7±28.1%), 수정률(50.8±16.2%) 및 부화율(40.5±22.4%)에 관한 결과에 비해 본 연구의 봄과 여름철 결과가 높은 경향을 나타내었으나, 성숙시기의 불일치로 인해 직접적인 비교는 어려울 것으로 판단된다.

수정 후 부화까지 소요되는 시간에 있어서 본 연구에서는 수온 22.5±0.5°C에서 수정 후 38시간 후부터 부화가 개시되었다. 이에 대해 인공수정된 극동산 뱀장어의 수정란은 수온 22~23°C에서 수정 38시간(Yamamoto et al., 1975), 38~45시간(Yamamoto and Yamauchi, 1974), 40시간(Tanaka et al., 2003) 이후부터 부화가 개시되었다는 결과와 유사하여 이는 수정방식에 따른 수정란의 부화시간은 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 유럽산 뱀장어의 부화시간은 수온 20~21°C에서 수정 후 48시간(Pedersen, 2004), 봉장어의 경우 수온 12~14°C에서 84시간(Horie et al., 2002)으로 극동산 뱀장어에 비해 소요시간이 다소 길었고, 갯장어의 경우 수온 25°C에서 36시간(Umezawa et al., 1991), 떡봉장어의 경우 수온 22.6~23.8°C에서 27~36시간(Asano et al., 1997)이 소요되는 것에 비해 짧았다. 이러한 결과는 부화시간은 수온에 영향을 받는다고 할 수 있으나, 극동산 뱀장어의 산란장과 산란시기의 수온이 명확히 밝혀져 있지 않았기 때문에 생태학적 연구와 더불어 부화율 향상을 위한 부화 적정수온 및 환경 조건 등에 관한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

뱀장어과를 포함한 부상란을 산출하는 red sea bream *Pagrus major* (Watanabe et al., 1984a, 1984b), sea bass *Dicentrarchus labrax* (Carrillo et al., 1989), yellowtail *Seriola quiqueradiata* (Mushiake et al., 1994), Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* (Furuuta et al., 2000, 2002), Japanese whiting *Sillago japonica* (Kondo et al., 2001)와 같은 경골어류에 있어서 수정란의 부상률은 수정률과 부화율 등에 관한 난질의 척도로 이용될 수 있다. 이에 대해, 뱀장어의 수정란에 있어서 Seoka et al. (2003)과 Unuma et al. (2005)은 부상란과 침성란에 대한 생화학적 조성과 난질과의 관계에 관해 보고하였다. 상기의 연구에 의하면 부상란의 수분함량(93.1%)과 유리아미노산(free amino acids, FAA) 함량(573.5 μmol/g in dry weight)은 침성란(87.5%, 385.8 μmol/g)에 비해 유의하게 높은 반면, 단백질과 지질함량은 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 이러한 수정란에 대한 생

화학적 조성의 차이는 배란기 이후 과숙의 유무에 의해 발생할 수 있는 것으로 부상란에 있어서 높은 수분함량과 FAA 함량은 필수적임을 제안하고 있다. 부상란의 난황단백질은 최종성숙기에 proteolysis로 인해 가수분해되어 FAA의 함량이 증대되고, FAA는 삼투압 조절에 작용하여 환경수로부터 수분을 유입함으로써 부상률을 증대시킬 수 있으며, 이후 배발생 단계에서 영양원으로 이용될 수 있음을 보고하였다(Fyhn, 1990). 따라서, FAA를 포함한 뱀장어 수정란의 생화학적 조성은 난질과 배발생 및 부화유생의 생존과 관련이 있을 것으로 판단되는 바 향후 관련 연구가 수행되어야 할 것이다.

자연계에서 뱀장어는 담수에서 yellow eel로 성장하다가 성숙기가 되면 체표가 은백색으로 변하는 silvering (은화과정)을 통해 silver eel로 변태하여 가을에서 초겨울 사이에 산란지로 강하한다. 이때 산란지로 회유하는 기간은 6개월(half year migrating) 정도로 이듬해 4월부터 11월 사이에 산란하는 것으로 알려져 있으나(Tsukamoto, 1990), 채집된 부화유생수의 출현빈도와 이들의 이석 미세구조의 분석에 의하면 뱀장어의 주산란시기는 6월에서 7월 사이로 보고되고 있다(Aoyama et al., 2001; Ishikawa et al., 2001). 자연계에서 뱀장어는 산란지로 회유하는 6개월의 기간 동안 생식소 발달이 이루어지는데 반해, 본 연구에서 양식산 뱀장어에 있어서 호르몬 처리에 의해 인위적으로 성성숙을 유도한 결과 계절별 그리고 개체별로 차이는 있으나, 자연산 뱀장어의 성성숙 기간보다 짧은 평균 8~14 주 이내에 대부분의 개체들의 배란이 유도되었다. 한편, Yoshikawa (1995)는 담수에서 사육 중인 4년생 양식산 암컷 뱀장어(500 g 이상)에 있어서 계절에 따른 GSI의 변화를 조사한 결과, 가을부터 서서히 증가하기 시작하여 겨울에는 약 1.8 정도로 연중 최고치에 도달하여 이 시기에 외재성 호르몬 투여에 의한 성성숙 유도 개시시기로 판단하고 있다. 또한 자연산 뱀장어에 있어서도 가을에 난소의 성숙상태가 가장 잘 발달되었으나, 겨울에 난소가 퇴화하는 경향을 나타낸다고 보고하였다(Satoh et al., 1962). 이러한 결과는 자연산 뱀장어와 마찬가지로 양식산 뱀장어에 있어서도 계절에 따라 생식소 발달정도 및 성성숙 관련 호르몬 작용에 대한 감수성이 변화하는 것으로 추측되어진다. 그러나 본 연구에서는 3월과 5월에 SPE 처리 후, 5월(봄)과 7월(여름)에 배란이 유도된 개체군에 대한 번식률이 다른 계절의 개체군에 비해 높았으며, 이러한 결과는 자연계에서 6월에서 7월사이가 뱀장어의 주산란시기로 추정되는 결과와 일치하였으나(Aoyama et al., 2001; Ishikawa et al., 2001), Yoshikawa (1995)의 연구와는 상이한 결과를 나타내었다. 이러한 차이점은 최근 뱀장어의 초기성숙(난황형성) 유도기구에 관한 결과에 의하면 수온(Sato et al., 2006), 장기간의 해수적응(Kagawa et al., 1997; Kalujnaia et al., 2007; Kim et al., unpublished data), 고정수압(high hydrostatic pressure; Sebert et al., 2007) 혹은 장기간의 유영(van Ginneken et al., 2007) 등과 같은 환경적인 요인에 의해 유도될 가능성이 높기 때문에 외재성 호르몬 투여에

의한 뱀장어의 초기성숙 유도가 오히려 저해될 뿐만 아니라 난질에도 영향을 미칠 것으로 추정된다. 지금까지 뱀장어의 인공성성숙에 관한 연구는 전 세계적으로 많은 연구자들에 의해 수행되어 왔다. 그러나 이러한 반세기간의 연구에도 불구하고 뱀장어 인공종묘생산기술은 아직 확립되지 못한 실정이다. 이에 대해 국내에서도 뱀장어 인공종묘생산연구의 중요성을 인식하여 2002년부터 연구개발사업이 수행된 이래 영양학적(Jeon et al., 2003a, 2003b; Bae et al., 2004; Han et al., 2005; Okorie 2007), 내분비학적(Kim et al., 2006a, 2006b, 2007) 접근을 통해 기초적 자료를 제공함으로써 성공적인 뱀장어 인공종묘생산을 구현하고자 지속적으로 많은 연구가 진행 중에 있다.

본 연구 결과, 양식산 뱀장어를 대상으로 호르몬 처리에 의한 계절별 인공성성숙 유도시 자연계에서의 주산란시기인 5월과 7월(봄~여름)에 번식률이 가장 양호한 것으로 확인되었다. 따라서 상기의 연구는 양식산 뱀장어의 종묘생산을 위한 인공성성숙시기의 결정과 번식률 향상을 위한 하나의 지표로 유용할 것으로 판단되며, 향후 유생의 생존율 향상 및 사육에 관한 연구가 각각적으로 수행되어야 할 것이다.

## 요 약

본 연구는 양식산 뱀장어 *Anguilla japonica*의 인위적인 성성숙 처리시기와 번식률과의 상호 관련성을 확인하기 위해 5월(봄)부터 익년 1월(겨울)까지 각 계절별로 수행되었다. 실험어의 인공성성숙 유도를 위해 암컷(400~600 g) 뱀장어에 salmon pituitary extraction (SPE, 20 mg/fish/week)를 매주 복강에 주사하여 인위적인 성성숙을 유도하였다. 호르몬 처리 8~13주 이후 대부분의 개체들은 난황형성이 완료되었고, 17 $\alpha$ , 20 $\beta$ -dihydroxyprogesteron (DHP, 2  $\mu$ g/g body weight)를 주사하여 배란을 유도하였다. 수컷 뱀장어(200~350 g)는 human chronic gonadotropin (HCG, 1 IU/g body weight/week)을 매주 복강에 주사하여 정자형성 및 배정을 유도하였고, 이후 상기의 개체들에 대해 자연산란에 의한 수정 및 인공수정을 병행하였다. 배란율, 부상률, 수정률 및 부화율을 포함한 계절별 번식률에 있어서 봄과 여름(5~7월)에 인공성성숙을 유도한 실험구가 다른 계절에 비해 높았다. 산란수와 부화 유생수 및 부화유생의 생존일수는 번식률과 유사한 경향을 나타내었다. 본 연구결과, 양식산 뱀장어에 있어서 호르몬 처리에 의한 인공성성숙유도의 시기는 자연계에서 주산란시기인 봄과 여름철이 적합함을 나타내고 있다. 따라서, 양식산 뱀장어의 적절한 인공성성숙시기는 배란율, 부상률, 수정률 및 부화율을 포함한 번식률에 의해 결정할 수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 국립수산물과학원(수산생물의 번식기구 연구, RP-2007-AQ-049)의 지원에 의해 운영되었습니다. 또한, 원활한 연

구수행을 위해 도움을 주신 부경대학교 배승철 교수님께 감사드립니다.

## 참고문헌

- Adachi, S., S. Ijiri, Y. Kazeto and K. Yamauchi, 2003. Oogenesis in the Japanese eel, *Anguilla japonica*. (in) K. Aida, K. Tsukamoto and K. Yamauchi(eds.), Eel Biology. Springer-Verlag, Tokyo, pp. 301-329.
- Asano, H., Y. Kubo and H. Hayashi, 1997. Location and numbers of oil globules in unfertilized and fertilized eggs, and larvae in the preleptocephalic stage in the order Anguilliformes. Mem. Fac. Agr. Kinki Univ., 30, 19-31.
- Aoyama, J., S. Ishikawa, T. Otake, N. Mochioka, Y. Suzuki, S. Watanabe, A. Shinoda, J. Inoue, P.M. Lokman, T. Inagaki, M. Oya, H. Hasumoto, K. Kubokawa, T.W. Lee, H. Fricke and K. Tsukamoto, 2001. Molecular approach to species identification of eggs with respect to determination of the spawning site of the Japanese eel, *Anguilla japonica*. Fish. Sci., 67, 761-763.
- Bae, J. Y., K. M. Han, G. J. Park and S. C. Bai, 2004. Studies on requirements of optimum dietary essential fatty acids in juvenile eel, *Anguilla japonica*. J. Aquacult., 17(4), 275-281.
- Carrillo, M., N. Bromage, S. Zanuy, R. Serrano and F. Prat, 1989. The effect of modifications in photoperiod on spawning time, ovarian development and egg quality in the sea bass, *Dicentrarchus labrax*. Aquaculture, 81, 351-365.
- Furuita, H., H. Tanaka, T. Yamamoto, M. Shiraishi and T. Takeuchi, 2000. Effects of n-3 HUFA levels in broodstock diet on the reproductive performance and egg and larval quality of the Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture, 187, 387-398.
- Furuita, H., H. Tanaka, T. Yamamoto, N. Suzuki and T. Takeuchi, 2002. Effect of high levels of n-3 HUFA in broodstock diet on egg quality and egg fatty acid composition of the Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture, 210, 323-333.
- Fyhn, H. J., 1990. Energy production in marine fish larvae with emphasis on free amino acids as a potential fuel. (in) J. Mellinger (ed.), Nutrition in Wild and Domestic Animals. Karger, Basel, pp. 176-192.
- Han, K. M., J. Y. Bae, O. E. Okorie, S. H. Go, J. H. Yoo and S. C. Bai, 2005. Evaluation of the optimum dietary protein to energy ratio of juvenile eel, *Anguilla japonica*. J. Aquacult., 18(3), 135-141.
- Horie, N., T. Utoh, Y. Yamada, A. Okamura and H. Zhang, 2002. Development of embryos and larvae in the common Japanese conger *Conger myriaster*. Fish. Sci., 68, 972-983.
- Ijiri, S., Y. Kazeto, N. Takeda, H. Chiba, S. Adachi and K. Yamauchi, 1995. Changes in serum steroid hormones and steroidogenic ability of ovarian follicles during artificial maturation of cultivated Japanese eel, *Anguilla japonica*. Aquaculture, 135, 3-16.
- Ishikawa, S., K. Suzuki, T. Inagaki, S. Watanabe, Y. Kimura, A. Okamura, T. Otake, N. Mochioka, Y. Suzuki, H. Hasumoto, M. Oya, M.J. Miller, T.W. Lee, H. Fericke and K. Tsukamoto, 2001. Spawning time and place of the Japanese eel, *Anguilla*

- japonica* in the North Equatorial Current of the western North Pacific Ocean. *Fish. Sci.*, 67, 1097–1103.
- Jeon, M. J., K. M. Han, J. Y. Bae, J. H. Yoo, K. A. Lee and S. C. Bai, 2003a. Serum steroid hormone level and hematological characteristics of one year cultured eels, *Anguilla japonica* based on total length and sex. *J. Aquacult.*, 16(4), 267–272.
- Jeon, M. J., K. M. Han, J. H. Yoo, K. A. Lee and S. C. Bai, 2003b. Nutritional properties of body composition based on captured location and size in wild eels, *Anguilla japonica*. *J. Aquacult.*, 16(4), 273–278.
- Kagawa, H., H. Tanaka, H. Ohta, K. Okuzawa and K. Hirose, 1995. In vitro effect of  $17\alpha$ -hydroxyprogesterone and  $17\alpha$ ,  $20\beta$ -dihydroxy-4-pregnen-3-one on final maturation of oocytes at various developmental stages in artificially matured Japanese eel *Anguilla japonica*. *Fish. Sci.*, 61, 1012–1015.
- Kagawa, H., N. Iinuma, H. Tanaka, H. Ohta and K. Okuzawa, 1997. Effects of rearing period in seawater on induced maturation in female Japanese eel *Anguilla japonica*. *Fish. Sci.*, 64, 77–82.
- Kalujnaia, S., I. S. McWilliam, V. A. Zaguinaiko, A. L. Feilen, J. Nicholson, N. Hazan, C. P. Cutler, R. J. Balment, A. R. Cossins, M. Hughes and G. Cramb, 2007. Salinity adaptation and gene profiling analysis in the European eel *Anguilla anguilla* using microarray technology. *Gen. Comp. Endocrinol.*, in press.
- Kim, D. J., E. H. Kim, M. W. Park, Y. C. Cho and S. G. Lim, 2006a. Plasma sex steroid hormone profiles in artificially maturing wild eel, *Anguilla japonica*. *J. Aquacult.*, 19(4), 267–274.
- Kim, E. O., J. Y. Bae, S. G. Lim, M. H. Son, M. W. Park, M. S. Park, Y. C. Cho and D. J. Kim, 2006b. Plasma sex steroid hormone profiles and testicular development in artificially maturing cultured male eel, *Anguilla japonica*. *J. Kor. Fish. Soc.*, 39(6), 466–471.
- Kim, D. J., E. J. Kang, J. Y. Bae, M. W. Park and E. O. Kim, 2007. Development of the eggs and pre-leptocephalus larvae by natural spawning of artificially matured Japanese eel, *Anguilla japonica*. *J. Aquacult.*, 20(3), 160–167.
- Kondo, S., M. Yoshioka and M. Kashiwagi, 2001. Changes in specific gravity and osmolarity of eggs of Japanese whiting, *Sillago japonica* during the embryonic development. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 67, 743–744.
- Kumar, T. R., Y. Wang, N. Lu and M. M. Matzuk, 1997. Follicle stimulating hormone is required for ovarian follicle maturation but not male fertility. *Nat. Genet.*, 15, 201–204.
- Ma, X., Y. Dong, M. M. Matzuk and T. R. Kumar, 2004. Targeted disruption of luteinizing hormone  $\beta$ -subunit leads to hypogonadism, defects in gonadal steroidogenesis, and infertility. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 101, 17294–17299.
- Mushiake, K., K. Kawano, W. Sakamoto and I. Hasegawa, 1994. Effects of extended daylength on ovarian maturation and HCG induced spawning in yellowtail fed moist pellets. *Fish. Sci.*, 60, 647–651.
- Nagahama, Y. and K. Yamamoto, 1973. Cytological changes in the adenohypophysis of fresh-water cultivated male Japanese eels, *Anguilla japonica* induced to maturation by transfer to sea water and Synahorin injection. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 39, 585–594.
- Okorie, O. E., Y. C. Kim, S. H. Lee, J. Y. Bae, J. H. Yoo, K. M. Han and S. C. Bai, 2007. Reevaluation of the dietary protein requirements and optimum dietary protein to energy ratios in Japanese Eel, *Anguilla japonica*. *J. World Aquacult.*, 38(3), 418–426.
- Ohta, H., H. Kagawa, H. Tanaka, K. Okuzawa and K. Hirose, 1996. Changes in fertilization and hatching rates with time after ovulation induced by  $17\alpha$ ,  $20\beta$ -dihydroxy-4-pregnen-3-one in the Japanese eel, *Anguilla japonica*. *Aquaculture*, 139, 191–301.
- Ohta, H., H. Kagawa, H. Tanaka, K. Okuzawa, N. Iinuma and K. Hirose, 1997. Artificial induction of maturation and fertilization in the Japanese eel, *Anguilla japonica*. *Fish. Physiol. Biochem.*, 17, 163–169.
- Pedersen, B. H., 2004. Fertilisation of eggs, rate of embryonic development and hatching following induced maturation of the European eel *Anguilla anguilla*. *Aquaculture*, 237, 461–473.
- Sato, N., I. Kawazoe, Y. Suzuki and K. Aida, 2006. Effects of temperature on vitellogenesis in Japanese eel *Anguilla japonica*. *Fish. Sci.*, 72, 961–966.
- Satoh, H., N. Nakamura and T. Hibiya, 1962. Studies on the sexual maturation of the eel-I. On the sex differentiation and the maturing process of the gonads. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 28, 579–584.
- Sebert, M. E., A. Amerand, A. Vettier, F. A. Weltzien, C. Pasqualini, P. Sebert and S. Dufour, 2007. Effects of high hydrostatic pressure on the pituitary-gonad axis in the European eel, *Anguilla anguilla*. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 153, 289–298.
- Seoka, M., S. Yamada, Y. Iwata, T. Yanagisawa, T. Nakagawa and H. Kumai, 2003. Differences in the biochemical content of buoyant and non-buoyant eggs of the Japanese eel, *Anguilla japonica*. *Aquaculture*, 216, 355–362.
- Tanaka, H., H. Kagawa and H. Ohta, 2001. Production of leptocephali of Japanese eel, *Anguilla japonica* in captivity. *Aquaculture*, 201, 51–60.
- Tanaka, H., H. Kagawa, H. Ohta, T. Unuma and K. Nomura, 2003. The first production of glass eel in captivity: fish reproductive physiology facilitates great progress in aquaculture. *Fish. Physiol. Biochem.*, 28, 493–497.
- Tsukamoto, K., 1990. Recruitment mechanism of the eel, *Anguilla japonica* to the Japanese coast. *J. Fish. Biol.*, 36, 659–671.
- Tsukamoto, K., 2006. Spawning of eels near a seamount. *Nature*, 439, 929.
- Umezawa, A., T. Otake, J. Hirokawa, K. Tsukamoto and M. Okiyama, 1991. Development of the eggs and larvae of the pike eel, *Muraenesox cinereus*. *Jpn. J. Ichthyol.*, 38, 35–40.
- Unuma, T., S. Kondo, H. Tanaka, H. Kagawa, K. Nomura and H. Ohta, 2005. Relationship between egg specific gravity and egg quality in the Japanese eel, *Anguilla japonica*. *Aquaculture*, 246, 493–500.
- Van Ginneken, V., S. Dufour, M. Sbahi, P. Balm, K. Noorlander, M. de Bakker, J. Doombos, A. Palstra, E. Antonissen, I. Mayer and G. van den Thillart, 2007. Does a 5500-km swim trial stim-

- ulate early sexual maturation in the European eel, (*Anguilla anguilla*). *Comp. Biochem. Physiol.*, 147, 1095-1103.
- Watanabe, T., A. Itoh, C. Kitajima and S. Fujita, 1984a. Effect of dietary protein levels on reproduction of red sea bream. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 50, 1015-1022.
- Watanabe, T., A. Itoh, A. Murakami, Y. Tsukashima, C. Kitajima and S. Fujita, 1984b. Effect of nutritional quality of diets given to broodstock on the verge of spawning on reproduction of red sea bream. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 50, 1023-1028.
- Yamamoto, K. and K. Yamauchi, 1974. Sexual maturation of Japanese eel and production of eel larvae in the aquarium. *Nature*, 251, 220-221.
- Yamamoto, K., K. Yamauchi and S. Kasuga, 1975a. On the development of Japanese eel, *Anguilla japonica*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 41(1), 21-28.
- Yoshikawa, M., 1995. Relationships between gonadal maturity and body weight or age, and seasonal change of them in cultivated Japanese eel, *Anguilla japonica*. *Bull. Shizuoka Perf. Fish. Exp. Stn.*, 30, 23-27.
- 加治俊二, 西 明文, 足立純一, 2004. 陸上水槽で養成しているハモの成熟状況の季節變化. 栽培漁業センタ技報, 1, 16-18.

---

원고접수 : 2007년 6월 25일

수정본 수리 : 2007년 10월 18일