

## 대구 (*Gadus macrocephalus*) 수정란 방류 시 부착기질과 저질의 영향

이소광 · 박경대 · 곽우석<sup>1\*</sup>

경상남도 수산자원연구소, <sup>1</sup>국립경상대학교 해양생명과학과

### Effects of Adhesive Substrates and Bottom Materials on Release of Fertilized Eggs by Pacific Cod, *Gadus macrocephalus*

So-Gwang LEE, Kyung-Dae PARK and Woo-Seok GWAK<sup>1\*</sup>

Gyeongsangnamdo Fisheries Resources and Research Institute, Tongyeong 650-947, Korea

<sup>1</sup>Division of Marine Bioscience, The Institute of Marine Industry Gyeongsang National University,  
Tongyeong 650-160, Korea

The effects of adhesive substrates and bottom materials on the release of fertilized eggs by the Pacific cod, (*Gadus macrocephalus*) were examined to find an effective release method. Palm twin as an adhesive substrate displayed a significantly elevated adhesive rate compared to gulf weed. However, the survival rate of the fertilized eggs attached to palm twin was as low as 17.5% 8 days after fertilization (DAF). In contrast, fertilized eggs in the absence of adhesive substrate displayed the highest survival rate (47.0%). Concerning bottom materials, the survival rate of fertilized eggs on sand was significantly high (approximately 51.1%) on 8 and 9 DAF. The observations indicates that adhesive substrates are not needed and spawning ground bottom materials such as sand or mud should be considered when releasing fertilized eggs of Pacific cod.

Key words: Pacific cod, Fertilized eggs, Adhesive substrates, Bottom materials

#### 서 론

우리나라의 대구 (*Gadus macrocephalus*) 어획량은 1920년대부터 1940년대까지 연평균 약 20,000톤 이상이었으나, 1940년대부터 지속적으로 감소하여 1970년대에는 약 1,500톤, 1994년에는 약 500톤이 어획되었고, 같은 시기 남해안에서는 대구가 한 개체도 어획되지 않았다 (KFA, 1998; MOMAF, 2002). 그러나 2000년부터 증가한 대구 어획량은 2006년 7,000톤으로 보고되었고, 그 중 남해안에서 어획된 양이 1,000톤으로 서서히 증가하고 있다 (MOMAF, 2006). 진해만은 우리나라에서 가장 규모가 큰 대구 산란장으로 알려져 있고, 감소한 대구 자원의 회복 및 안정적인 관리를 위하여 1981년부터 매년 1월을 금어기로 정하고 수정란 방류 사업을 실시하여 대구 어미 총 23,983개체로부터 채란한 약 235억 개의 대구 인공수정란을 방류하였다. 또한 2002년부터는 경상남도수산자원연구소에서 생산된 대구 치어도 매년 20,000-50,000개체가 수정란이 방류되는 동일 해역에 방류되고 있다 (Gyeongsangnamdo, 2008).

대구 수정란 방류는 2002년까지 거제 장목면 외포리 연안에 수정란을 뿌리거나 인공 수정란의 약한 점착성을 이용하여 나일론 소재 로우프에 부착시킨 후 해수 중에 매달아 자연

부화하는 (를 유도하는) 방법으로 수행되었다. 그러나 KORDI (2003)의 부착기질별 수정란 탈락률 실험을 통해 팜사가 로우프보다 부착율이 높은 것으로 보고되어 2003년 1월부터는 팜사에 수정란을 부착 후 매달아 방류하고 있다. 이러한 대구 수정란 방류사업은 한 겨울인 1월에 수행되고, 인공수정 후 수정란을 부착기질인 팜사에 부착하여 매달아 부화시켜야 하므로 추가적으로 많은 노동력과 비용이 소요된다. 또한 KORDI (2003)는 부착기질을 이용하여 수정란 부화를 유도하는 방법은 사란에 기인한 수생균 대량발생을 일으킬 수 있다고 지적하였다. 그러므로 부착기질 사용 유무와 그 종류에 따른 수정란 생존율과 효율성을 검증할 필요가 있다.

우리나라 연안에 서식하는 대구에 대해서는 Uchida (1936)가 분포, 어획시기 및 어장, 생활사 그리고 난 발생과 자치어 성장과정에 대해서 보고하였다. 그 외 KORDI (2003)가 대구자원의 효율적 증강대책, Lec et al. (2005)가 한국 동해안 대구의 성숙과 산란, Kim et al. (2007)이 진해만에서 산란하는 대구의 난 발생 및 자어 형태발달 그리고 Seo et al. (2007)가 한국 동해계군 대구의 난발생과 자치어 성장에 대해 채란, 부화 및 자어 성장에 미치는 수온의 영향에 대하여 보고하였다.

Uchida (1936)는 진해만 내에서 대구 산란이 일어나는 곳의 특징을 만 형태를 띄며 조류 흐름이 강하지 않고 수심

\*Corresponding author: wsgwak@gnu.ac.kr

20 m 이상 되는 바닥이 필요 된 곳으로 보고하였다. 또한 일본의 Mutsu Bay와 Noto-Island 주변 해역에 서식하는 대구도 산란기가 되면 비교적 수심이 얇고 바닥이 펄 또는 모래로 이루어진 곳으로 산란회유한다는 보고가 있다 (Kawamura and Kokubo, 1950; Sakurai and Hattori, 1996). 자연에서 대구 산란장 저질의 이와 같은 공통적 특성은 대구 수정란의 부화 또는 생존과 관련이 있을 수 있음을 시사한다.

그러므로 진해만에서 수행되고 있는 대구 수정란 방류사업의 효율성을 높이기 위해서는 수정란을 부착기질에 붙일 때와 부착기질을 사용하지 않았을 때 그리고 부착기질 종류에 따른 생존을 변화를 조사하고 진해만의 대구 주 산란해역의 바닥저질인 사니질의 퇴적상구조와 같은 물리적 조건이 수정란 생존율에 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구가 필요하다. 따라서 이번 연구는 이와 같은 물리적 조건이 대구 수정란 생존율에 영향을 미치는지에 대한 조사를 통하여 수정란 방류사업이 효율적으로 진행될 수 있도록 하는데 목적이 있다.

## 재료 및 방법

### 수정란 확보 및 부화조건

대구 수정란을 얻기 위하여 진해만에서 어획된 어미를 2008년 1월 17일과 30일 2회에 걸쳐 거제시 외포에서 구입, 활어차를 이용하여 경상남도수산자원연구소로 이송하였다. 인공수정은 암컷의 복부를 압박하여 알을 착출하고 정액을 채정하여 건식법으로 정자를 골고루 희석시킨 후, 해수를 넣어 섞는 방법으로 진행되었다. 실험기간 동안 사육조건은 수온  $9.4 \pm 0.2^\circ\text{C}$ , 염분  $34.2 \pm 0.1$  psu, 용존산소  $9.5 \pm 0.1$  ppm을 유지하였고, 사육수는  $10 \mu\text{m}$  하우징필터 (CP-10, Chisso Filter. Co. Ltd., Japan) 및 자외선 살균기 (KUB-75SL, Daehunjungsu, Korea)를 통과한 해수를 200 mL/min으로 공급하였고, 광주기는 형광등을 이용하여 24시간 연속 조명을 실시하였다.

### 부착기질에 따른 수정란의 생존율 변화

부착기질에 따른 수정란의 탈락률을 조사하기 위하여 수정 직후 1번 세란된 수정란을 1,000 mL 비이커에 담아 침강시켜 상층의 해수를 제거하였다. 팜사와 모자반 (*Sargassum fulvellum*)을 30 cm 길이로 잘라 수정란을 무작위로 부착시켜 20 L ( $\varnothing$  30 cm $\times$ h 30 cm) 아크릴 수조에 각각 매달았다 (Fig. 1a, b). 수정 1일후 실험 준비 과정 중 기질에서 탈락된 수정란을 제거한 후 실험시작 시 수정란 부착밀도는 팜사가 1 cm당 평균 201개였고, 모자반은 줄기와 엽체 간에 차이는 있었으나 1 cm당 평균 181개였다. 2일째부터 매일 탈락된 수정란을 10 mL 피펫으로 채집하여 계수하였고, 수정란이 부화하기 시작하는 1일 전인 수정 후 9일째 부착되어 있는 모든 수정란을 수거하여 탈락률을 계산하였다.

부착된 수정란의 생존을 관찰을 위하여 수정 후 1번 세란한

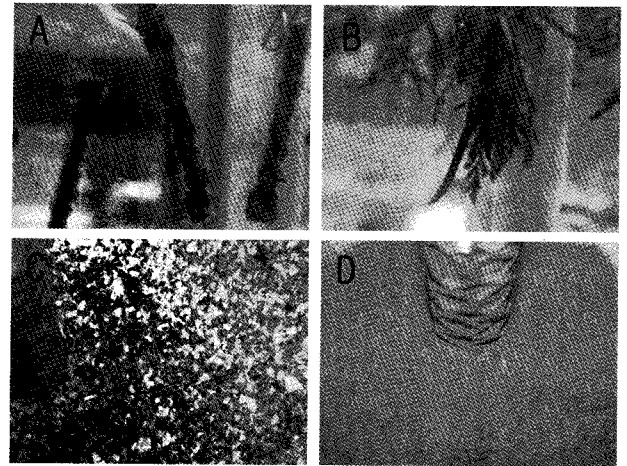


Fig. 1. View of adhesive substrates (A, palm twine; B, gulf weed) and bottom materials (C, sand; D, mud).

수정란을 1,000 mL 비이커에 담아 침강시켜 상층의 해수를 제거하였다. 모자반과 팜사를 10 cm 길이로 각각 12개 자르고 한 쪽 끝을 명주실로 묶어 수정란이 담긴 비이커에 넣어 수정란을 무작위로 부착시켜 20 L ( $\varnothing$  30 cm $\times$ h 30 cm) 실험수조의 중층에 매달아 부화시켰다. 부착밀도는 팜사가 1 cm당  $126 \pm 25$ 개였고, 모자반은 줄기와 엽체 간에 차이는 있었으나 1 cm당  $101 \pm 30$ 개였다. 대조구로서 20 L ( $\varnothing$  30 cm $\times$ h 30 cm) 아크릴 수조 바닥에 수정란을 4,000개 수용하여 부화한 것과 생존율을 비교하였다.

생존율을 조사하기 위하여 수정 후 10일까지 각 실험구에 매달아 둔 10 cm 길이의 팜사와 모자반을 매일 한 개씩 잘라 부착된 수정란을 무작위로 200개 채집하여 생존율을 관찰하였으며, 대조구에서는 각 수조에 수용된 수정란 중 무작위로 200개를 채집하여 실험구와 같이 입체현미경 (Olympus SZX16, Japan)과 영상촬영장치 (Olympus DP20, Japan)를 이용하여 촬영 후, Imaging Soft (Olympus Co., Japan)를 이용하여 각 실험구와 대조구의 생존율을 계산하였다. 수정란의 생존 여부는 발생이 정상적으로 진행되어 수정란의 세포질 내용물 형체가 뚜렷하면서 수정란이 투명한 것을 '생존', 발생이 중지되어 세포질 내용물 형체가 불분명해지면서 수정란이 불투명해진 것을 '폐사'로 판정하였다 (Fig. 2).

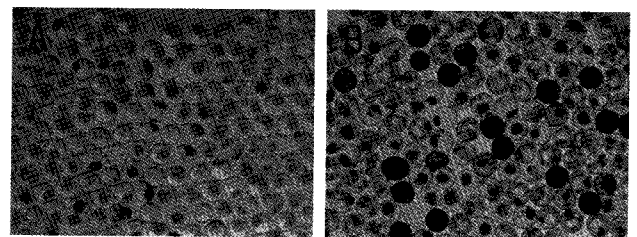


Fig. 2. Microscopic view of Pacific cod fertilized eggs (A, morula stage, 2 days after fertilization; B, 9 days after fertilization, transparent eggs: survival, opaque eggs: death).

바닥 저질에 따른 수정란의 생존율 변화

바닥 저질에 따른 수정란의 생존율 변화 관찰을 위하여 20 L (Ø 30 cm×h 30 cm)의 아크릴 수조 바닥에 펄과 모래를 10 cm 높이로 각각 채운 수조와 대조구로서 바닥에 아무것도 넣지 않은 수조를 준비하였다 (Fig. 1c, d). 실험은 다른 시기에 두 마리의 어미에게서 얻어진 수정란을 대상으로 2반복으로 2회 실시하였고, 각 수조에 수정란 4,000개를 수용하여 생존율을 비교하였다. 실험은 매일 무작위로 200개의 수정란을 채집하여 부착기질에 따른 수정란 생존율 변화 실험과 동일한 방법과 기기를 이용하여 관찰하고 생존율을 구하였다.

통계처리는 일원배치 분산분석 (Microsoft, 2005)을 실시하였으며 유의한 차이가 있을 경우 Tukey-test를 실시하였다 (p<0.05).

결과 및 고찰

부착기질에 따른 수정란의 부착율과 생존율 변화

팜사와 모자반에 수정란을 부착시킨 후 시간 경과에 따라 탈락되지 않고 부착되어있는 수정란의 부착율과 생존율을 조사한 결과를 Figs. 3, 4에 나타내었다. 부착된 수정란의 탈락은 실험 이틀째부터 팜사와 모자반 모두에서 일어났으며 팜사의 부착율은 실험 종료시 89.9%를 나타냈다. 모자반도 실험 시작 다음날부터 감소하기 시작하여 수정 후 9일째는 부착율이 55.3%를 기록하여 모자반에서 수정란 탈락이 많은 것으로 나타났다 (p<0.05).

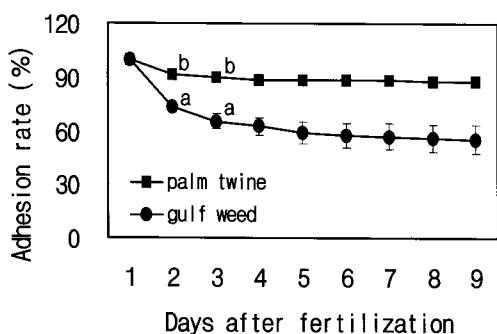


Fig. 3. Adhesion rate of Pacific cod fertilized eggs on two kinds of different substrates (■, palm twine; ●, gulf weed). Different superscripts indicate significant differences between treatments at that sampling time (p<0.05).

한편, 수정란의 생존율은 실험 시작 후 두 개의 실험구와 대조구 모두에서 감소하는 경향을 나타냈다. 수정 후 7일까지 팜사 실험구, 모자반 실험구 그리고 대조구 간의 생존율에 있어서 유의한 차이가 없었지만 (p>0.05), 8일째는 대조구, 모자반 실험구 그리고 팜사 실험구 순으로 높게 나타났다 (p<0.05). 또한 수정 후 8일째는 팜사 실험구의 생존율이 17.5%까지 감소하여 최소값을 나타내며 대조구의 45.0%와는 유의한 차이를 보였다 (p<0.05). 이와 같은 두 실험구 간 생존율

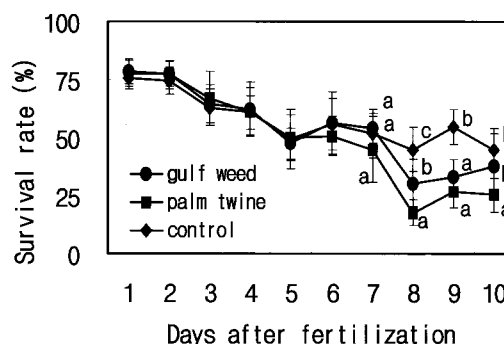


Fig. 4. Survival rate of Pacific cod fertilized eggs attached to three kinds of different substrates (●, gulf weed; ■, palm twine; ◆, control). Different superscripts indicate significant differences between treatments at that sampling time (p<0.05).

차이는 최종부화율로 간주할 수 있는 수정 후 10일째 생존율에서도 계속되었다 (p<0.05).

이번 연구에서 부착기질로 팜사와 모자반을 사용한 실험구가 부착기질을 사용하지 않은 대조구보다 실험 후반부에서 생존율이 매우 낮게 나타났다. 이는 실험 초기 부착기질에 조밀하게 붙어 있던 수정란으로 인해 안쪽으로 산소유입이 차단되어 초기폐사가 유도되었고 사란에서 발생한 수생균에 의해 수정란 알 덩어리가 형성되면서 2차적인 폐사가 일어나 기질에 부착한 전체 수정란의 생존율에 영향을 주었을 것으로 추측된다. Sakurai and Hattori (1996)는 대구 수정란이 많이 모여 있을 경우, 사란은 난 내부의 부패한 내용물을 해수 중으로 방출하며 근접한 난에 부착하여 알 덩어리를 형성하여 폐사를 일으킨다고 하였다.

한편 KORDI (2003)는 팜사가 모자반이나 로우프에 비해 부착력이 탁월하여 많은 수정란을 부착시킬 수 있으나 이와 같은 기질에 부착하여 수정란 부화를 유도하는 방법은 사란에 기인한 수생균 대량발생을 유도하여 폐사가 일어나며 수정란이 부착기질에서 탈락하기 쉬우므로 부착 수정란의 밀도를 현저히 낮추어 팜사에 부착 후 방류하는 것이 바람직하다고 하였다. 그러나 수정란 방류를 통한 대구자원 증식이 수정란 방류사업의 가장 중요한 목적이므로 부착기질별 탈락률보다 부착기질 사용 여부에 따른 수정란 생존율 검증이 선행되어야 한다고 판단된다. 결과적으로 이번 연구에서 부착기질을 사용하지 않은 대조구가 팜사 실험구와 모자반 실험구보다 매우 높은 생존율을 나타낸 것을 고려하면 대구 수정란은 부착기질에 부착하지 않고 방류하는 것이 생존율을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 수조 내에서 대구의 산란 모습을 관찰한 Sakurai and Hattori (1996)는 암컷 대구가 수조 바닥이 사니질로 된 수조 내에서 알을 흠뿌리듯 산란하며 꼬리지느러미를 이용 분산 시키면 수컷이 뒤를 이어 방정하며 정액을 분산시켜 수정이 일어나고, 수정된 난은 흩어져 바닥에 침강하여 약 1시간 경과 후 약한 점착성을 상실한다고 하였다. 그래서 대구 수정란은 약한 점착성을 갖고 있지만 기질에 부착하지 않고

부화하는 침성란이라고 보고하였다. 따라서 이번 연구결과인 부착기질을 사용하지 않은 대조구의 높은 생존율과 약한 점착성을 갖고 있는 대구 수정란 특성을 고려할 때 매년 1월 대구가 위판되고 있는 현장에서 인공수정 후, 추가적으로 노동과 비용을 들여 수정란을 부착 기질에 부착 하여 방류장소에 매다는 것 보다는 부착 기질을 사용하지 않고 수정란을 바닥에 끌고루 뿌리는 방법이 방류된 대구 수정란의 생존율과 방류사업의 효율성을 동시에 높일 수 있을 것으로 판단된다. 또한 대구의 산란생태를 고려할 때 수정란 방류 시에도 한 곳에 집중하여 수정란을 방류하기 보다는 끌고루 분산시켜 방류하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

#### 바닥 저질에 따른 수정란의 생존율 변화

바닥 저질에 따른 수정란의 생존율 결과를 Fig. 5에 나타냈다. 첫 번째 실험에서는 수정 후 4일까지 모든 실험구에서 생존율이 감소하였고 후반으로 갈수록 모래와 펄 실험구에 비해 대조구의 생존율이 낮은 것으로 나타났으나 (Fig. 5a) 유의적 차이는 없었다 ( $p>0.05$ ). 재현성 확인을 위해 수행된 두 번째 실험에서도 수정 후 5일까지 모든 실험구에서 생존율이 급격히 감소하였고, 후반으로 갈수록 첫 번째 실험과 유사한 경향이 나타났다. 특히, 수정 후 8일과 9일째는 모래와 펄 실험구가 대조구보다 생존율이 높았다 ( $p<0.05$ ).

두 번째 실험 후반부에서 모래와 펄 실험구와 대조구 간의 유의한 생존율 차이를 보이는 구간은 있었다. 그러나 첫 번째 실험에서는 모래와 펄 실험구의 9일째 생존율이 51.5%와 43.5%에서 10일째 34.2%와 27.9%까지 감소하여 30.8%를 나타낸 대조구와 유사하였고, 두 번째 실험에서도 모래와 펄 실험구의 9일째 생존율이 49.3%와 44.5%에서 10일째 40.0%와 21.4%로 감소하여 실험 종료일인 10일째는 모래 또는 펄과 대구 수정란의 생존율 간에 밀접한 상관성이 나타나지 않았다.

어류의 산란에 있어서 산란장의 수온, 염분, 바닥의 부착기질 또는 저질 등의 물리적인 조건은 매우 중요하다 (Mori, 2000). 특히, 침성란을 낳는 어류는 산란에 적당한 장소를 찾지 않으면 안 되고 산란장 조건 중 바닥의 저질 또는 바닥의 기질 특성이 수정란의 생존 전략에 있어서 중요한 의미를 갖는다. 점착성이 없는 침성란을 낳는 연어 (*Oncorhynchus keta*)는 산란을 위해 강 상류의 자갈밭에 산란장을 만들어 산란하여 수정란의 이동을 막고 포식자로부터 보호하고 침성 점착란을 낳는 청어 (*Clupea pallasii*)는 다시마 (*Laminaria japonica*)나 모자반 같은 해조류가 번성한 곳에서 산란하며 이들을 부착기질로 이용하고 도루묵 (*Arctoscopus japonicus*)도 해조류에 산란하여 공 모양의 알 덩어리를 만든다 (Hirai, 2003). 대구의 산란장 저질은 주로 펄과 모래로 구성된 것으로 보고되었다 (Uchida, 1936; Kawamura and Kokubo, 1950).

한편 Sakurai and Hattori (1996)는 대구 인공 수정란에 미치는 저질 즉, 모래와 펄의 영향에 대해 조사하고 저질의 유무가 수정란의 생존율과 밀접한 관련이 있음을 보고하였다. 즉,

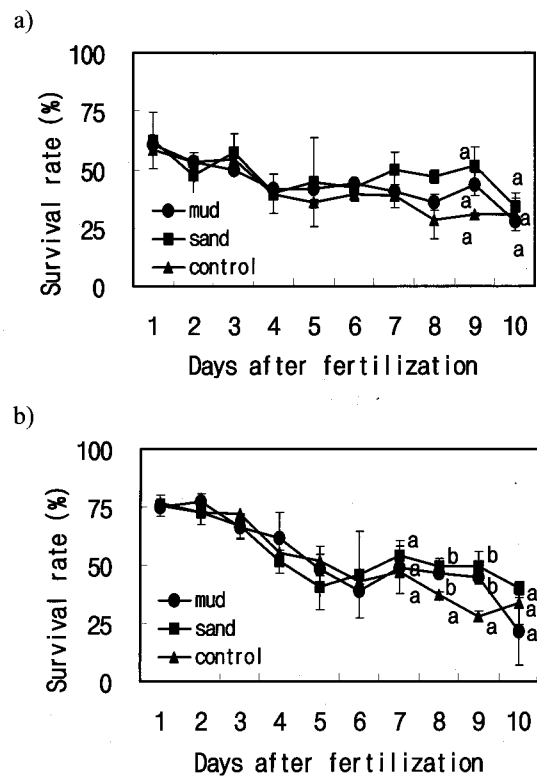


Fig. 5. Survival rates of Pacific cod fertilized eggs laid upon three different kinds of bottom substrates (A, 1st trial; B, 2nd trial; ●, mud; ■, sand; ▲, control). Different superscripts indicate significant differences between treatments at that sampling time ( $p<0.05$ ).

20일 간의 실험에서 바닥이 펄로 된 실험구에 있던 수정란은 생존율이 83.8%로 높았으나 펄이 없는 실험구는 0%로 펄에서 생존율이 높았다고 하였고, 수용된 난의 양이 많으면 저질의 유무에 관계없이 난은 모두 사망하는데 저질 위에 있는 난의 양이 비교적 적은 경우 살아있는 수정란 난막에는 펄이 붙어 있어 사란이 부착하기 어렵게 만들었기 때문이라고 하였다. 10일까지 실험한 1차, 2차 실험의 펄에서의 수정란 생존율은 27.9%와 21.4%로 Sakurai and Hattori (1996)의 실험 결과보다 낮았고, 아크릴바닥에서의 생존율은 30.8%와 33.6%로 높게 나타났다. 이 번 연구에서 펄과 모래 실험구의 비교적 낮은 생존율은 수정란이 과밀하게 수용되었거나 비교적 수정란 질이 떨어지는 수정란이 실험에 선택되어진 때문인 것으로 추측된다. Sakurai and Hattori (1996)는 저질이 사니질로 된 수조에 대구 친어를 수용하여 산란된 대구 수정란의 부화율이 89.2%인 것을 보고하고, 대구 산란장에서 저질이 수정란의 생존율에 미치는 영향을 조사하여 산란장에서 저질이 중요한 역할을 하고 있음을 주장하였다.

Hirai (2003)는 대구와 같은 과에 속하는 명태 (*Theragra chalcogramma*)의 수정란은 난막 표면에 점착성이 없는 부성란을 낳아 부화할 때 까지 수중을 떠다니지만, 대구는 약한 점성이 있는 침성란을 낳으므로 해저에 침강된 난의 난막에는

미립자의 펄이나 모래가 부착하여 난 끼리 부착하는 것을 방지하여 생존율을 높인다고 하였다. 이와 같은 수정란의 서로 다른 생태는 난막 두께에서도 확인 가능한데 명태는 3  $\mu\text{m}$  인 반면, 부화 전까지 모래 또는 펄 위에서 굴러다니며 다양한 기질들과 접촉해야 하는 대구는 10  $\mu\text{m}$ 로 3배 이상 두껍다. 또한 대구와 같이 약한 점착성을 갖는 침성난을 낳는 어류는 자주복 (*Takifugu rubripes*)과 까나리 (*Ammodytes personatus*) 등이 있는데 이들이 갖고 있는 약한 점착력도 바닥이나 기질에 붙기 위한 것 보다는 난막에 작은 모래 또는 펄 등이 붙게 하여 난을 위장 시켜 포식자로부터 보호하는 역할에 사용되는 것으로 추측하였다(Hirai, 2003). 결과적으로 대구 산란장의 펄 또는 모래는 갯 수정되어 짐강한 대구 수정란끼리 서로 부착하는 것을 방지하고, 수정난 난막에 붙어 위장을 통한 난 보호 역할을 하여 수정란의 생존율을 향상시키는데 기여할 것으로 추측된다. 수정란 과밀수용으로 인해 이 번 연구에서는 바닥 저질에 따른 생존율 차이가 유의하게 나타나지 않은 것으로 추정되므로 추가적인 실험이 요구된다. 그러나 산란 시 난을 흩뿌리듯 산란하는 대구의 산란생태, 수정란 특성 그리고 사니질로 구성된 산란장 저질 환경 등을 고려 할 때, 저질이 펄 또는 모래로 된 해역에 대구 수정란을 방류하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

Uchida (1936)는 대구 인공수정란 방류를 통한 자원관리 노력이 경상남도 진해만에서 1936년 이전부터 있었고, 1936년 도에는 경상남도어업조합연합회 주축로 약 4억 개의 수정란이 방류된 것으로 보고하였다. 이와 같은 수정란 방류를 통한 대구 자원조성 노력이 효과를 얻기 위해서는 대구의 산란생태와 수정란 특성과 같은 과학적인 자료에 근거하여 효율적인 방법으로 방류사업이 수행되어야 한다. 즉, 진해만에 산란회유하는 대구는 짧은 산란기간 동안(Kim et al., 2007a), 산란장 저질(Uchida, 1936), 수온(Yamamoto, 1939; Kim et al., 2007b) 그리고 조류의 세기(Uchida, 1936) 등의 시간적, 물리적으로 제한된 조건하에서 산란하는 번식특성을 갖고 있으므로 진해만 내의 이러한 조건이 맞는 장소에서 수정란 방류가 수행되어야만 대구 자원증식이 보다 효율적으로 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

## 사 사

연구수행에 있어서 많은 도움을 준 경상대학 해양생명과학과 어류학연구실 학생들에게 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

Gyeongsangnamdo. 2008. 2008 Fisheries Production Yearbook. Gyeongnam, 124-125.

- Hirai, A. 2003. Fish eggs. Seizando, 1-102.
- Kawamura, T. and S. Kokubo. 1950. On the cod in Mutsu Bay. Research report on fisheries resources in Aomori Prefecture, 1, 186-191.
- Kim, T.J., B.G. Kim, C.Y. Park, B.Y. Choi, H.U. Joo, H.S. Jee, S.Y. Shin, S.G. Lee and W.S. Gwak. 2007a. Characteristics of Pacific cod, *Gadus macrocephalus* during the spawning period in the Jinhae Bay, Korea-I Fish market survey. Abstract, Ann. Meet. Kor. Fish. Soc., 146.
- Kim, T.J., C.Y. Park, S.G. Lee and W.S. Gwak. 2007b. Morphological development of eggs and larvae of the Pacific cod, *Gadus macrocephalus*. Korean J. Ichthyol., 19, 343-349.
- KFA. 1998. Korean Fisheries Yearbook. Oriental Publisher. Seoul, 1-75.
- KORDI. 2003. Report of the effective strategy for stock-enhancement of Pacific cod. Seoul, 1-82.
- 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. Sci., 38, 245-250.
- MOMAF. 2002. 2002 Fishery Production Survey. Samsung Elite, Seoul, 1-22.
- MOMAF. 2006. 2006 Fishery Production Survey. Samsung Elite, Seoul, 1-268.
- Mori, S. 2000. Water environment for the fishes. Shinzansha, Tokyo, 105-158.
- Sakurai, Y. and T. Hattori. 1996. Reproductive behaviour of Pacific cod in captivity. Fisheries Sci., 62, 222-228.
- Seo, Y.S., M.E. Park, J.G. Kim and S.U. Lee. 2007. Egg development and juvenile growth of the Pacific cod *Gadus macrocephalus* (Korean East Sea Population). J. Kor. Fish. Sci., 40, 380-386.
- Uchida, K. 1936. On the Pacific cod of adjacent waters to Korea. Chousen no Suisan, 130, 24-39.
- Yamamoto, T. 1939. Effects of water temperature on the rate of embryonal development of the eggs of the Korean codfish, *Gadus macrocephalus* Tilesius. Plant Animal, 8, 40-43.

2008년 9월 10일 접수

2009년 2월 19일 수리