한국 서해안 2개 갯벌지역 수평망식 굴, *Crassostrea gigas*의 성장과 폐사 비교 연구

모기호[1], 박영제[2], 정의영[3], 김영길[4], 정충훈[5], 한경남[1]

[1]인하대학교 해양학과, [2]바다녹색산업연구소, [3]다이브코리아 한국해양환경생태연구소,
[4](사)수산증·양식기술사협회, [5]인하대학교 서해연안환경연구센터, [1]인하대학교 해양학과

Comparisons of Growth and Mortality of the tidal flat Oyster *Crassostrea gigas* by the Net Bag Rack Culture System in Two Districts in Western Korea

Ki-Ho Mo[1] Young-Je Park[2], Ee-Yung Jung[3], Young-Gil Kim[4], Choong-Hoon Jeong[5] and Kyung-Nam Han[1]

[1]Biological and Fishery Oceanography, Inha University, Inchon 402-751, Korea
[2]Sea Green Industry Institute, Bucheon 420-851, Korea
[3]Korea Marine Environment & Ecosystem Institute, Dive Korea, Bucheon 420-857, Korea
[4]Korea Professional Aquaculture Engineering Association Inchon 400-705, Korea
[5]I Research Center for Coastal Environments of Yellow Sea, Inha University, Inchon 402-751, Korea

ABSTRACT

We investigated environmental characteristics of the tidal flat oyster aquafarms to clarifyeffects of the tidal flat environmental factors on growth and mortality of the tidal flat oyster Crassostrea gigas by the Net Bag Rack Culture System in two districts in Western Korea. In this study, we have carried out the basic environmental investigation on growth of the single tidal flat, water quality and sediments, etc. in Taean and Seosan districts, Choongcheongnam-do, where the single tidal flat oyster aquaculture have been performed by the net bag rack culture system. In June 2011 when the final survey carried out at the two districts in western Korea, the mortality in Seosan district was higher than that in Tae-an district. Judging from the results of growth and mortality of the single tidal flat oysters investigated at two sites of Jinsan-ri in Taean and Chang-ri in Seosan districts, two results of Taean district showed higher growth and lower mortality than those of Seosan district. It is assumed that the proper acceptable density possible for growth of the tidal flat seeds and the secure of economics, in case of plastic cultivate net with the size of 50 x 80 cm, are about 200 individuals. In this study, It was clarified that selection of the suitable sites, the input into the net bag of high quality oyster seeds and selective dispersion in the optimal density of the single tidal flat oyster have an effect on growth and mortality of the tidal flat oyster.

Key words: tidal flat oyster, single tidal flat oyster, net bag rack culture system, *Crassostera gigas*, eco-friendly culture

서 론

굴 *Crassostrea gigas*은 분류학상 연체동물문, 이매패강, 익각목, 굴과에 속하며 전 세계적으로는 3속, 100종 이상이 분포하고 있다 (유, 2003). 굴은 우리나라에서 산업적으로 가장 중요한 종으로 우리나라 전 연안의 조간대와 천해에 분포하며, 세계적으로도 가장 중요한 산업종이다. 우리나라에는 참굴 이외에 소량씩 생산되는 남해안의 강굴 (*Crassoster rivularis*), 동해남부와 남해안의 바위굴 (*Crassostrea nippona*) 이 있고, 토굴 (*Ostrea denselamellosa*) 은 동해 남부에서 서해안에 걸쳐 서식한다.

굴은 글리코겐, 광물질, 비타민류 및 단백질 등의 각종 영양소가 높게 함유되어 있는 기호식품이며, 전 세계적으로 매년 수요량이 증가하고 있다. 지금까지 참굴은 주로 수하식 양식으

Received: March 9, 2012 : Accepted: March 20, 2012
Corresponding author: Young-Je Park
Tel: +82 (32) 328-3922 e-mail: scallop@hanmail.net
1225-3480/24425

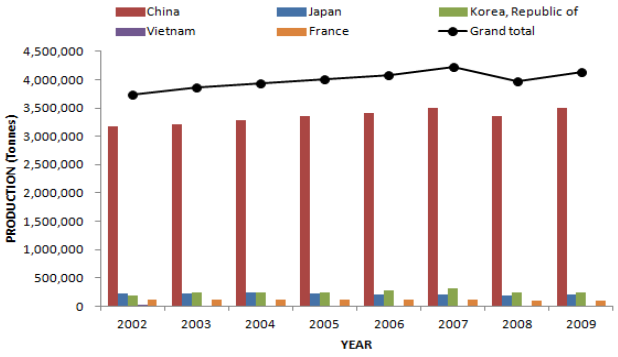

Fig. 1. Total productions (mt) of the oyster by country for 8 years from 2002 to 2009.

로 생산된 것을 생식 또는 자숙, 훈제통조림 등으로 소비되어 왔으나 최근에는 수하식 양식 굴과 함께 갯벌 조간대에서 한 개체씩 분리시켜 자루에 넣어 키운 갯벌굴의 소비량이 프랑스와 미국, 일본 등 선진국을 중심으로 크게 증가하고 있다.

우리나라의 굴류 생산량은 2007년 350,592톤 (1,554억원), 2010년 290,462톤 (1,933억원) 으로 중국 다음으로 세계 제 2위의 굴 생산국이며, 현재까지는 대부분 수하식 양식으로 생산되고 있다. 그러나 갯벌굴은 생산량이 적어 아직까지는 통계에 기록되지 않고 있는 반면, 프랑스는 굴 생산량의 70% 이상이 갯벌굴이 차지하고 있다. 최근 들어 전 세계적으로 갯벌굴과 같은 고품질 개체굴의 선호도가 확대되면서 수하식 양식과 병행하여 프랑스 등지에서 양식되는 수평망식 갯벌굴 양식이 우리나라 서해안 갯벌을 중심으로 2000년대 후반부터 보급되기 시작하였으며, 특히 2007년 12월 태안 허베이스피리트호 유류오염 피해 양식어장 복원사업의 일환으로 친환경 고부가가치의 대단위 갯벌참굴 산업화 양식개발이 추진되고 있다. 갯벌굴 양식은 각각 한 개체씩 분리되어 성장한 갯벌굴 종패를 플라스틱 자루에 넣은 다음 갯벌 위에 지주를 세우고 거치대를 연결하여 거치대 위에 굴 자루를 올려 키우는 방식이다 (Fig 1). 본 양식방법은 항상 물 속에 잠긴 상태로 군체 (Colonies) 로 키우는 수하식 양식과는 달리 한 개체 (a single tidal flat oyster) 씩 분리시켜 갯벌 조간대에서 조석간만의 차에 의한 주기적인 노출이 반복되는 극한 상황의 조건에서 키우는 방식으로 고품질의 생식용 굴을 생산할 수 있을 뿐만 아니라 연중 생산이 가능한 장점을 지니고 있다. 국외 (프랑스 등) 에서는 이러한 방식을 이용하여 갯벌굴 양식이 대단위 산업화로 정착되어 어업인 소득에 큰 역할을 담당하고 있으며, 우리나라 정부에서도 2012년부터 갯벌굴을 수산물 10대 고부가가치 전략품목으로 선정하여 친환경 양식 산업으로 투자를 확대해 나가고 있다.

지금까지 굴과 관련된 연구는 국내외적으로 많은 연구가 있다. 국외의 경우 여름철 양식 참굴의 폐사원인에 관한 연구

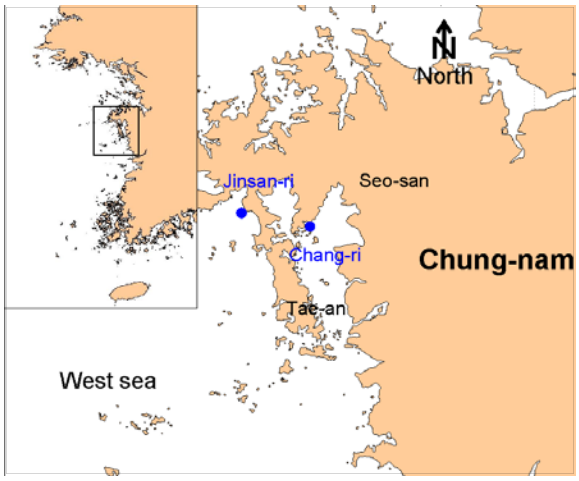

Fig. 2. A map showing two sampling areas (Jinsan-ri in Taean and Chang-ri in Seosan) on the west coast of Korea.

(Soletchnik *et el.*, 2005) 와 참굴 사망률의 시공간적 변화 (Royer *et el.*, 2007), 참굴 유생 착생 이후 수온과 먹이밀도와의 관계 (Rico-villa et al., 2009), 서로 다른 염분 조건하에서의 강굴 (*Crassoster rivularis*) 과 대서양굴 (*Crassostrea virginica* G.) 의 성장 및 질병에 미치는 영향 (Calvo *et al.*, 2001) 등 많은 연구가 있다. 국내에서도 수하식 양식 (Choi *et al.*, 2008) 또는 투석식 자연산 굴 등에 관한 여러 연구가 있으나 수평망식 갯벌굴과 관련된 연구는 아직 보고 된 바 없다.

따라서 본 연구는 금후 대규모로 확대될 갯벌굴 양식어장의 환경 특성 파악을 위해 충남 태안과 서산지역 갯벌어장의 환경을 비교 분석하고, 이들 환경에서 갯벌굴의 성장과 폐사에 미치는 영향을 구명하여 수평망식 갯벌굴 양식 적지선정을 위한 기초 생물학적 자료를 얻고자 조사하였다.

재료 및 방법

1. 연구 해역 및 양식 시설

본 연구는 외해형의 내만에 위치한 충남 태안군 남면 진산리 해역과 천수만 내측의 반 폐쇄성 해역에 위치한 충남 서산시 창리 해역에서 조사하였다 (Fig. 2). 충남 태안군 남면 진산리 해역은 조석간만의 차가 크고 수심이 약 3 m 이하인 지역으로 2007년 12월 허베이스피리트호 기름 유출사고의 직접적인 영향을 받은 지역이다. 충남 서산시 창리 해역은 기름유출사고가 일어났을 때 간접적으로 영향을 받은 내만형 지역으로 인근지역에 가두리 양식장이 산재해 있으며, 주변에 암반이 많은 지역으로 서산 A, B 지구 등을 통한 담수의 영향을 많이 받는 수심이 5 m 이하인 지역이다. 수평망식 갯벌굴 양식시설은 104 × 80 × 70 cm의 구조물에 5 mm망목의 50 × 80 cm 크기의 플라스틱 양성망을 2개씩 얹어 조석 간만의 차를

Fig. 3. The structure of the *Aquaculture* facility of the tidal flat oyster by the net bag rack culture system at the intertidal zone.

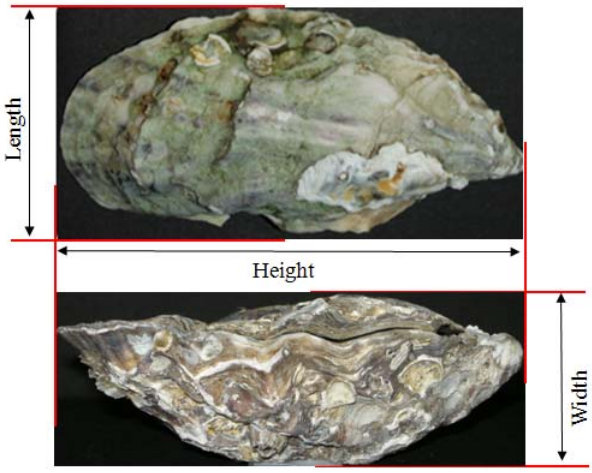

Fig. 4. External morphologies and morphological measurements of the tidal flat oyster, *Crassostrea gigas*: shell length, shell height, shell width.

고려하여 4시간 노출선에 각각 설치하였다 (Fig. 3).

2. 채집 및 측정

조사에 사용된 갯벌굴 치패는 ㈜ 씨에버에서 구입하여, 2010년 6월에 창리 해역에서 중간육성 단계를 40일간 거친 후 7월에 각각 창리 해역과 진산리 해역의 수평망식 세트장으로 이동하여 육성하였다. 표본 채집은 2010년 7월부터 2011년 6월까지 매월 1회씩 무작위로 50개체씩 채취하였고, 성장도를 측정하기 위하여 패각에 부착되어 있는 부착생물 등을 깨끗이 제거한 후, choi *et al* (1999) 에 의한 전중량, 각고 등을 측정하였다 (Fig. 4). 또한, 조사기간 동안의 참굴의 누적 사망률을 알아보기 위해 별도의 대조구를 설치하여 폐사개체를 측정하였다.

3. 수질 분석 및 통계 처리

갯벌굴 양식장 환경변화를 파악하기 위하여 수온, 염분, 용존산소는 수질측정기 (YSI-150) 를 이용하여, 수온은 0.1℃, 염분은 0.1psu, 용존산소는 0.01mg/L까지 매월 1회 측정하였다. pH는 pH meter (ORION 4 STAR) 를 이용하여 0.01까지 매월 1회 측정하였다.

부유물질은 500 ml 해수를 채수하여 미리 무게를 달아놓은 GF/F여과지 (GF/F, 0.45 μm) 로 여과한 후, 건조기에 2시간 동안 건조하여 함량을 구한 다음 건조 전후의 무게 차이로 계산하였으며 계절별로 측정하였다.

Chlorophyll-a는 현장에서 Niskin 채수기를 이용하여 채수한 300-500 ml정도 해수를 GF/F (직경 47 mm, 공 구경 0.7 μm) 로 여과한 후, 여과지를 10 ml conical tube에 담아 10 ml의 90% 아세톤을 넣어 냉암소에 넣고 24시간동안 추출하였다. 추출한 시료는 Syringe filter (MFS, PTFE 0.45 μm pore size) 로 여과하여 입자를 제거한 뒤 표준시약으로 보정한 형광계 (Turner fluorometer:Turner designs model 10-AU) 로 측정하여 형광 (fluorometric) 방법으로 정량적인 Chlorophyll-a 값 (μL-1) 을 3회 측정하였다 (Parsons *et al*., 1984).

영양염류는 현장에서 Niskin 채수기를 이용하여 표층해수를 채수한 후, 해양공정시험방법 (2005) 에 따라 계절별로 측정하였다. 시료는 GF/F (직경 47 mm, 공 구경 0.45 μm) 로 여과시킨 후 영양염 자동분석기 (Traacs 2000, BRAN+LUEBBE) 를 사용하여 측정하였다. 한편, 조사 해역의 기온은 태안군 안흥지역의 매월 기상자료 (국립 기상청 자료, 2010, 2011) 를 참조하여 일별 평균 기온으로 나타내었다.

통계분석은 각 연구 결과로부터 얻어진 자료 값 사이의 유의차 유무를 MS - Excel 2007 에서 t-test를 통하여 평균 간의 유의성 ($P < 0.05$) 을 검정하였다.

결 과

1. 양식장 환경 요인

시험해역 인근 안흥 지역의 기온은 Fig. 5에 나타내었다. 연평균 최고 평균기온은 8월에 26.3℃, 최저 평균기온은 1월에 -6.4℃로 최근 들어 기후변화에 의한 겨울철 한파 지속기간이 점차 길어지는 경향을 보이고 있다.

수평망식 갯벌굴 양식시설이 설치된 창리 해역의 수온은 2.3-29.7℃ 범위로 내만역의 특성으로 겨울에는 주변해역에 비해 낮고 여름에는 높은 값을 보이고 있다. 진산리 해역의 수온은 4.7-27.8℃ 범위로 변동 폭이 창리보다 적었다 (Fig. 6). 수온의 경우 창리 해역보다 진산리 해역의 변동 폭이 적어 갯

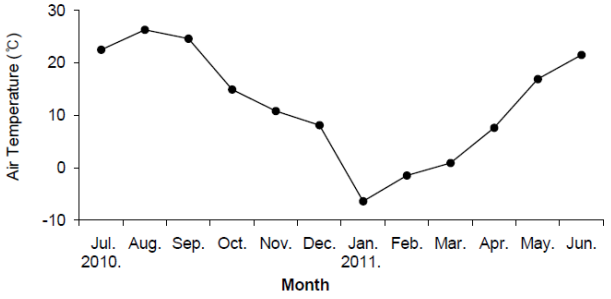

Fig. 5. Monthly changes in the mean air temperature (℃) from July 2010 to June 2011.

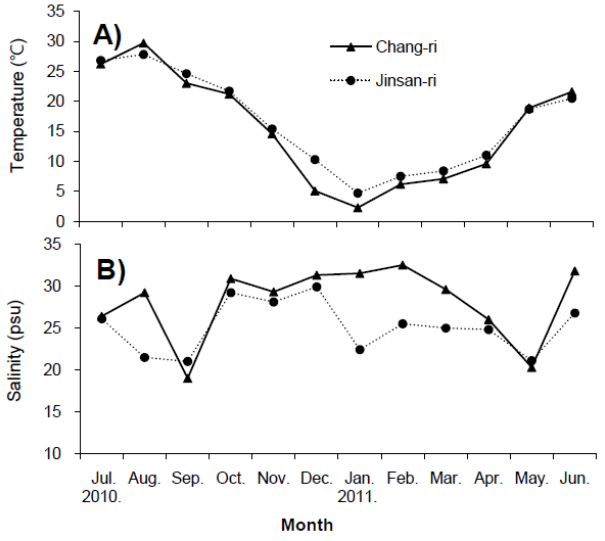

Fig. 6. Comparisons of monthly changes in sea water temperature (℃) and salinity (psu) at Chang-ri in Seosan and Jinsan-ri in Taean.

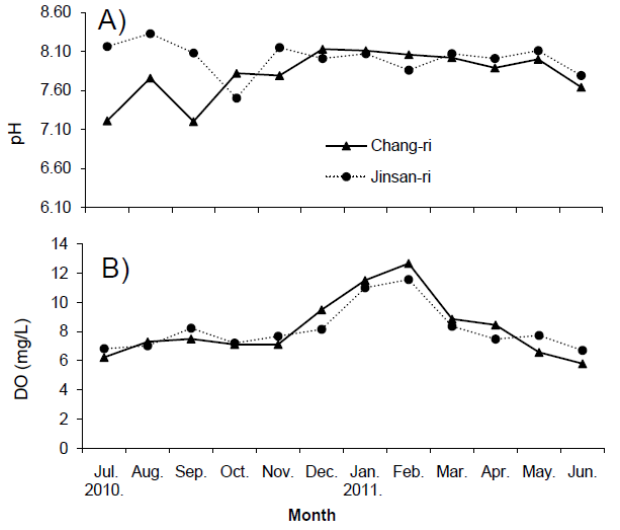

Fig. 7. Comparisons of monthly changes in pH and dissolved oxygen concentrations at Chang-ri in Seosan and Jinsan-ri in Taean.

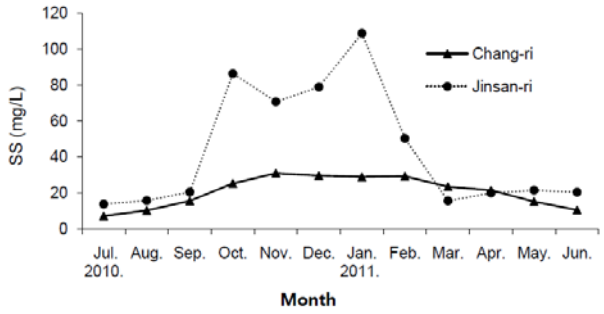

Fig. 8. Monthly changes in SS concentrations at Chang-ri in Seosan and Jinsan-ri in Taean.

벌굴 양식에 보다 적합한 해역으로 판단되었다 ($P > 0.05$).

창리 해역의 염분은 19.0-32.5 psu 범위로 2월에 가장 높았고, 9월과 5월에 낮았다. 진산리 해역은 21.0-29.9 psu로 12월에 가장 높았고, 9월과 5월에 낮았으며, 두 지역 모두 9월에 강우량의 영향을 많이 받았다 (Fig. 6), 염분량은 내만인 창리 해역보다 진산리 해역이 갯벌굴의 양식에 더 적합한 것으로 나타났다 ($P < 0.05$).

용존산소는 창리 해역이 6.23 -12.68 mg/L, 진산리 해역이 6.83 -11.57 mg/L의 범위로 해수 수질 등급 Ⅱ (등급Ⅰ의 해역에서 서식환경에 적합한 수산생물 외의 수산생물의 서식·양식에 적합한 수질) 에 해당하여 양 해역 모두 갯벌굴의 양식에 적합한 환경을 보였다 (Fig. 7).

pH는 창리 해역이 7.20-8.13, 진산리 해역이 7.50-8.33으로 창리 해역이 담수의 영향을 더 많이 받는 것으로 여겨진다. pH 역시 두 해역 모두 유의성 검증 결과 유의하지 않았으며, 수질등급Ⅱ에 해당하는 범위를 나타내었다 ($P > 0.05$, Fig. 7).

부유물질 (SS) 은 창리 해역의 경우 7.2-30.8 mg/L 범위로 겨울철에 높은 농도를 나타내었고, 진산리 해역은 13.8-108.8 mg/L로 여름보다 겨울철에 크게 높은 농도를 보였다 ($P < 0.05$, Fig.8). 이러한 원인은 창리 해역은 내만역으로, 저질이 암반과 자갈들로 이루어져 풍파의 영향을 덜 받은 반면, 진산리 해역은 외해역과 내해역의 중간역으로 풍파의 영향을 더 많이 받으며, 저질이 일부 펄과 모래질이 혼합되어 창리 해역보다 부유물질 농도가 높은 것으로 여겨진다. 그러나 인근의 리조트 건설 현장에서 유입되는 황토성 부유물질의 영향을 받았던 것으로 추정된다 (Fig. 8).

화학적산소요구량 (COD) 은 창리 해역은 1.02-2.43 mg/L 범위로 비교적 높은 값을 나타내었는데, 이는 주변의 항구 시설과 가두리 양식장 및 밀집된 민가의 배출수 영향을 받는 것

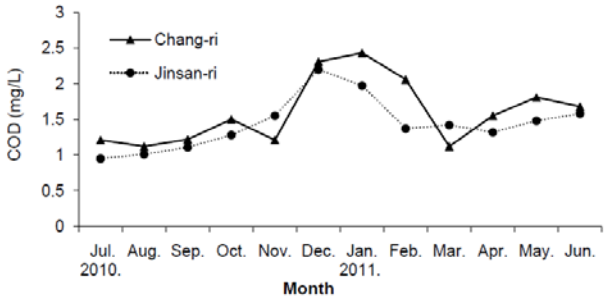

Fig. 9. Monthly changes in COD concentrations at Chang-ri in Seosan and Jinsan-ri in Taean.

으로 여겨진다. 진산리 해역은 0.95-2.77 mg/L로 외해에 인접한 내만인데도 불구하고 최고 값이 창리보다 높게 나타난 것은 10월부터 시험시설 주변에 건설 중인 리조트 공사장 방출수의 영향을 받았던 것으로 추정된다 ($P > 0.05$, Fig. 9).

Chlorophyll-a 값은 조사 시기에 따라 양 해역에서 차이를 보였다. 창리 해역은 4.52-9.43 μg/L의 범위로 겨울철에 낮고 봄철에 높은 농도를 나타내었다. 진산리 해역은 5.20-20.07 μg/L로 창리 해역보다 크게 높았으며, 창리와 같이 겨울철에 낮고 봄철에 높았다. 진산리 해역은 창리 해역보다 Chl.-a의 농도가 시기에 따라 2배 이상 높게 나타났는데, 이는 수온, 염분 및 용존산소 등의 환경요인이 창리에 비해 적합할 뿐만 아니라 펄 저질로부터 용출되는 미네랄 등 식물플랑크톤의 발생 조건이 창리 해역에 비해 유리한 환경을 만들어 주기 때문인 것으로 추정할 수 있다 ($P < 0.05$, Fig. 10).

DIN의 농도는 창리 해역은 0.070-0.264 mg/L (평균 0.164 mg/L) 로 서산 A·B지구의 담수 방류량이 증가한 2010년 7월에 최고치를 보였고, 2011년 1월에 최저치를 나타내었다. 진산리 해역은 0.094-0.820 mg/L (평균 0.427 mg/L) 으로 2010년 10월에 최고치를, 7월에 최저치를 나타내었다.

PO^4-P의 농도는 창리 해역은 0.001-0.029 mg/L (평균 0.013 mg/L) 로 2011년 1월에 최저 값을, 2010년 7월에 최고 값을 보였다. 진산리 해역은 0.004-0.047 mg/L (평균 0.019 mg/L) 로 2011년 4월에 최저 값을 보였고, 2010년 10월에 0.047 mg/L로 최고 값을 보였다.

SiO_2-Si의 농도는 창리 해역은 0.029-0.409 mg/L (평균 0.280 mg/L) 로 2011년 1월에 0.029 mg/L로 최저치를, 2010년 7월에 0.409 mg/L로 최고치를 보였다. 진산리 해역은 0.219-1.420 mg/L (평균 0.864 mg/L) 로 2010년 7월에 0.219 mg/L로 최저치를, 2010년 10월에 1.420 mg/L로 최고치를 보였다. 영양염류 농도는 내만역인 창리 해역보다는 내만과 외해의 중간역인 진산리에서 높게 나타나고 있는데, 이는 저질이 펄 보다는 자갈이나 돌로 구성된 창리 해역과는 달리 펄 갯벌이 잘 발달되어 있는 진산리 해역의 갯벌이 해수 수질

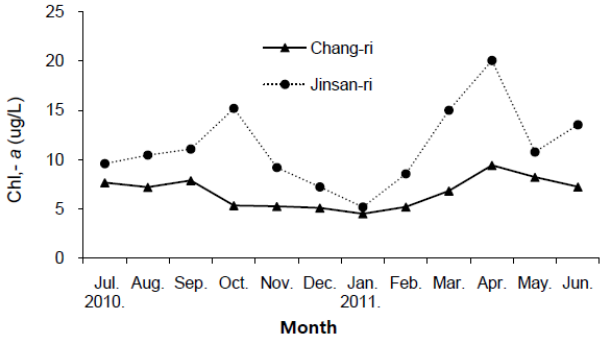

Fig. 10. A comparison of monthly changes in Chlorophyll-a concentrations at Chang-ri in Seosan and Jinsan-ri in Taean.

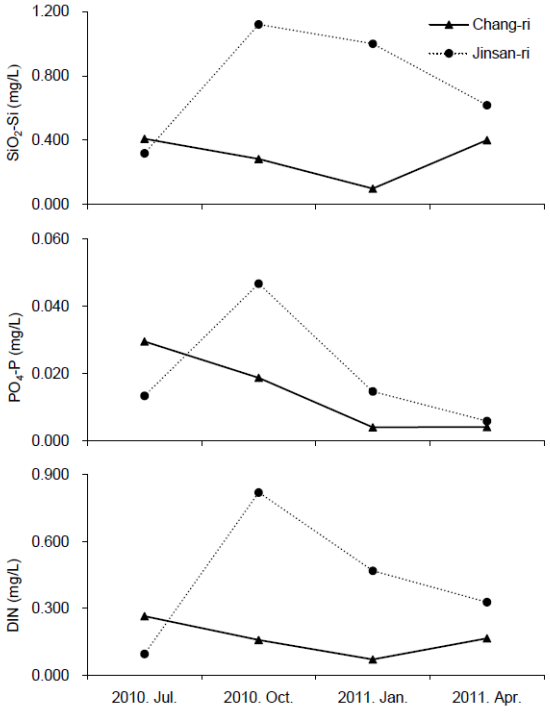

Fig. 11. Comparisons of monthly changes in the concentrations of SiO_2-Si, PO^4-P and DIN at Chang-ri in Seosan and Jinsan-ri in Taean.

내의 영양염류의 저장과 공급원으로 일부 작용하고 있는 것으로 여겨진다 (Fig. 11).

2. 갯벌굴의 성장과 폐사

창리 해역과 진산리 해역에서의 갯벌굴 양성시험 결과는 Fig. 12 및 Fig. 13에 나타내었다.

2010년 7월에 창리와 진산리 해역에 시험 입식한 갯벌굴의 종패 크기는 평균 각고 5.25 ± 0.76 mm, 전중량 0.023 ±

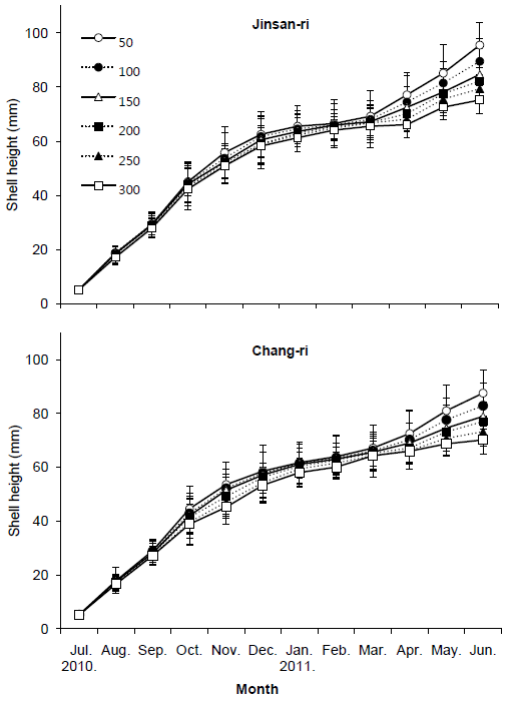

Fig. 12. A comparison of monthly changes in shell height at Jinsan-ri in Taean and Chang-ri in Seosan.

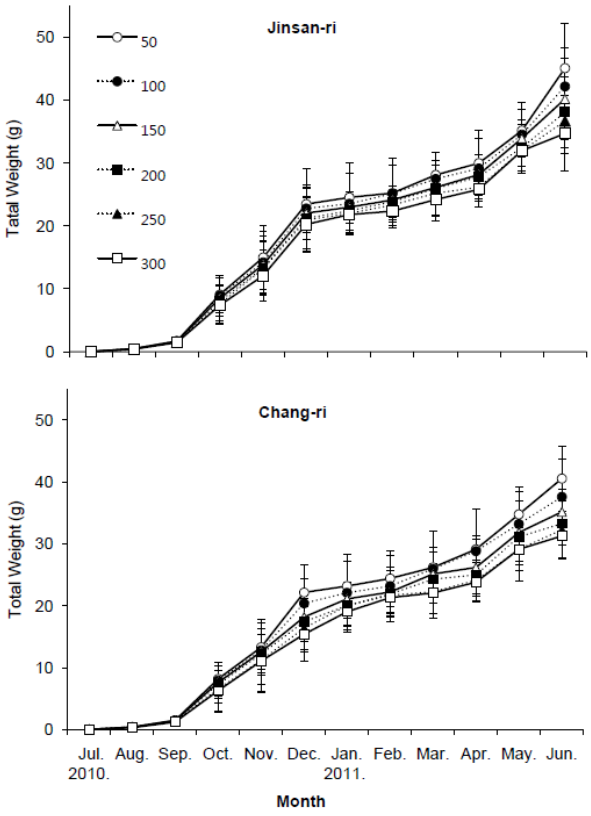

Fig. 13. A comparison of monthly changes in total weight at Jinsan-ri in Taean-gun and Chang-ri in Seosan-si.

0.0.0063 g 이었다. 플라스틱 망 안에 입식된 시험개체의 수용밀도는 4시간 노출선을 기준으로 양식의 경제성을 고려하여 각각 300, 250, 200, 150, 100, 50개체로 하였으며, 양 해역에서 입식 밀도별 성장 및 폐사율 등을 조사하였다.

2010년 7월부터 2011년 6월까지 월별 및 입식 밀도별로 성장과 폐사율을 조사한 결과 창리 해역은 300개체 밀도에서 각고 70.18 ± 6.05 mm 전중량 31.27 ± 3.55 g을 나타내었고, 250개체에서는 각고 73.00 ± 7.32 mm 전중량 32.27 ± 4.58g, 200개체에서는 각고 76.89 ± 7.15 mm 전중량 33.27 ± 5.62 g, 150개체는 각고 78.89 ± 10.55 mm 전중량 35.18 ± 5.41g, 100개체는 각고 82.85 ± 6.55 mm 전중량 37.58 ± 6.14g, 50개체는 각고 87.55 ± 8.55 mm 전중량 40.54 ± 5.25g으로 성장하였다.

진산리 해역은 300개체 밀도에서 각고 75.25 ± 5.16 mm 전중량 34.71 ± 5.98 mm, 250개체에서 각고 79.39 ± 5.39mm 전중량 36.71 ± 5.11g, 200개체는 각고 82.22 ± 7.39 mm 전중량 38.11 ± 5.58 g, 150개체는 각고 84.68 ± 9.45 mm 전중량 40.22 ± 6.4 g, 100개체는 각고 89.52 ± 8.55 mm 전중량 42.28 ± 6.12 g, 50개체는 각고 95.48 ± 8.39 mm 전중량 45.11 ± 7.11g 으로 성장하였고, 양 해역 모두 유의성을 보였다 ($P < 0.05$).

밀도별 성장은 입식밀도 50, 100, 150, 200, 250, 300개체 순으로 입식량에 의해 성장이 결정되었다. 처음 입식 시에는 300개체의 고밀도에서도 플라스틱 망 안의 공간이 여유로웠으나 개체가 성장함에 따라 수용밀도 200개체 이상에서는 공간 부족 현상으로 성장이 둔화되거나 각 개체별로 뚜렷한 성장 차이를 보였다.

2010년 7월 망 입식 이후 갯벌굴의 폐사율은 8월에 창리에서 3 %, 진산리 해역은 2 %의 폐사율을 보였으며, 시험 종료 시점인 2011년 6월에는 창리에서 53-58 %, 진산리 해역이 28-31 %로 창리 해역의 폐사율이 크게 높았다 (Fig. 14).

고 찰

환경요인 중 굴의 성장에 가장 큰 영향을 미치는 것은 수온과 염분으로 알려져 있으며, 특히 수온이 5℃ 이하로 내려가면 성장이 둔화된다는 연구가 있다 (Shin *et al*., 2008). 또한 수온이 28℃ 이상이면 성장이 정지하거나 폐사율이 증가된다고 알려져 있다 (Soletchnik *et al*., 2005). 본 연구가 시행된 해역은 겨울철 (1월) 에 창리 해역이 2.3℃이었고, 진산리 해역이 4.7℃이었다. 여름철 (8월) 에는 창리 해역이 29.7℃, 진산리 해역이 27.8℃로 조사되었다. 폐사율은 여름철과 겨울철에

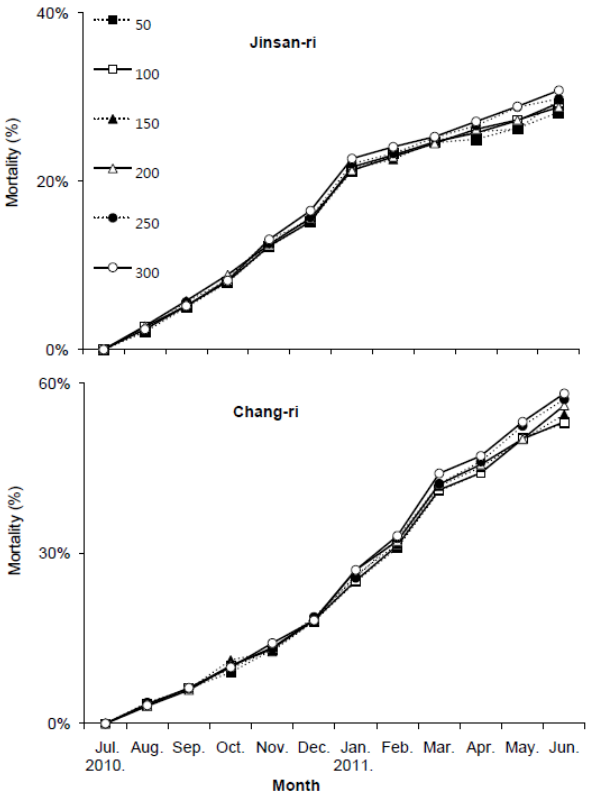

Fig. 14. A comparison of monthly changes in mortalities at Jinsan-ri in Taean-gun and Chang-ri in Seosan-si.

높게 나타났는데, 서산 창리 해역은 태안 진상리 해역보다 여름철의 고수온과 겨울철의 한파 지속에 의한 수온 하강으로 폐사율이 좀 더 증가됨을 확인할 수 있었다.

참굴은 광염성 종으로 최적염분이 20-26 psu (Kim, 1996)로 보고되고 있는데, 창리 해역의 경우 9월과 5월을 제외하고는 시험기간 중 적정염분 범위를 나타냈다. 진산리 해역은 10-12월에 외부 요인에 의해 일시적으로 저 염분을 보이고 있으나 그 외 월은 적정 염분 범위를 나타냈다. 진산리 해역에서 10-12월의 저염분 현상은 갯벌굴 시험시설 바로 위쪽에 위치한 대형 리조트 건설현장에서 유입되는 담수의 영향으로 염분이 불규칙하게 낮아졌던 것으로 추정된다. 창리 해역의 경우는 창리 항구와 인접하고 있으며, 주변에 횟집과 주택이 밀집되어 있고, 서산 A, B지구의 담수 유입의 영향으로 진산리 해역 보다 낮은 염분을 나타낸 것으로 추정된다.

시험기간 중 갯벌굴의 성장이 가장 빠른 시기는 4-6월과 9-11월로 성장은 봄부터 초여름 및 가을에 빨랐고, 특히 봄에서 초여름으로 이행하는 시기에 급격한 성장을 보였다. 반면 최고수온에 이르는 8월에는 성장이 약간 둔화되고, 겨울철 한파 지속기간 중에는 성장이 거의 정지되거나 크게 둔화되는 것으로 나타나고 있어, 연중 성장이 가능한 기간은 3월부터 12월로 여겨진다.

갯벌굴의 성장은 창리에 비해 진산리에서 더 빠르게 나타나고 있는데, 이러한 성장차이는 수온과 염분 등 환경요인에 따라 나타나는 연구결과 (Kim, 1980) 들과 일치하였다. 또한 상대 성장이나 계절별, 해역별 성장연구 (Bae *et al*., 1998) 결과처럼 양 해역 간에는 성장 차가 뚜렷하였다. 본 연구결과 갯벌굴은 수하식 양식 굴과 같이 수온에 매우 민감하게 작용하는 것을 알 수 있으며, 특히 조석에 따라 1일 2회씩 노출되는 갯벌조간대의 특성으로 한여름 및 한겨울에는 수온과 함께 대기에 의한 극한기온이 성장과 생존에 크게 영향을 미치는 것으로 여겨진다. 온도와 염분의 변화로 인한 일반적인 반응은 먹이섭취 활동과 성장속도 저하를 들 수 있는데 (Hand and Stickle, 1977: Shumway, 1977), 버지니아굴에서는 수온이 5℃ 이하일 때 성장이 정지되는 것으로 알려져 있다 (Kim, 1999). 이는 겨울철에 수온이 하강하였을 때 성장이 둔화되거나 거의 정지 상태에 이를 수 있음을 갯벌굴에서도 알 수 있었다. 수온의 변화폭 또한 갯벌굴의 성장과 생존, 생식특성에 영향을 미치는데 (신 등, 2000: Kinne, 1967: Widdows, 1985), 성장이 빠른 진산리 해역은 변화폭이 적은 반면, 성장이 느린 창리 해역은 수온의 변화 폭이 컷 다. 염분 또한 참굴의 성장에 제한인자가 되는데, 과도한 염분의 변화는 패류의 직접적인 폐사의 원인이 될 수 있고, 일정 염분 이하로 낮아질 경우 패각을 닫는 반응을 보여 먹이 섭취량이 감소하거나 굴의 성장이 늦어질 수 있다. 이는 변화된 환경을 극복하기 위한 생체 반응이며, 이로 인해 단기간의 환경변화에는 생존이 가능하다 (Soletchnik *et al*., 2005: Guo *et al*., 1996: Cheung and Lam, 1995).

영양염류는 갯벌굴의 주요 먹이원인 식물플랑크톤의 번식 및 Chlorophyll-a 농도분포에 영향을 미치는데, 영양염류가 풍부한 진산리 해역이 창리 해역에 비해 성장이 빠르고, 폐사를 줄이는데 간접적으로 기여하는 것으로 여겨진다. 부유물질 또한 갯벌굴의 성장에 영향을 줄 수 있는데, 저질이 펄, 모래로 이루어진 진산리 해역의 부유물질 속에는 굴이 요구하는 규조류 등의 식물플랑크톤 및 갯벌로부터 용출되는 미네랄 등 갯벌표면 규조류 등의 성장에 유익한 성분들이 다량 함유되어 굴이 섭취할 수 있기 때문이다. 이러한 수질 및 먹이공급 조건이 갯벌굴의 서식에 좀 더 적합한 진산리 해역이 창리해역 보다 더 유리하게 작용하였던 것으로 추정된다.

밀도별 성장에서 일정 크기 이상으로 성장 후에는 먹이 및 공간 경쟁에 의해 성장이 둔화되는 것으로 나타났다 (Yoo *et al*. 1981). 이는 집단으로 부착생활을 하는 수하식 양식 굴과는 달리, 비부착 성으로 일정 공간의 망 안에서 개체간의 고밀도 영역 경쟁을 회피할 수 없는 것으로 여겨진다. 또한 고밀도일수록 망 안에서 개체간의 경쟁이 심해질 수 있으며, 굴이 성

장함에 따라 일정 높이 이상으로 망의 공간이 확보되지 않을 경우 개체간의 간섭으로 먹이를 섭취할 때 패각을 열 수 없는 상황에 이르거나 성장이 둔화되고 기형패가 발생되며 때로는 폐사에 이를 수 있는 것으로 여겨진다. 따라서 적정 성장 및 경제성 확보가 가능한 적정 수용밀도는 200개체 내외가 적정한 것으로 여겨지며, 균형성장을 위해서는 수시로 양식망을 흔들어 패각이 골고루 퍼질 수 있게 해줘야 할 것으로 판단된다.

갯벌굴 양식 중 폐사가 심한 시기는 겨울철인 2010년 12월부터 2011년 3월까지로, 특히 1-2월의 한파 지속기간이 길수록 간조시 갯벌 위에 노출된 굴이 일부 동사할 수 있는 것으로 여겨지며 (Rico-villa *et al*., 2009), 겨울철의 성장 둔화와 폐사 유형은 항상 물 속에서 생활하는 일반 수하식 양식 굴과는 차이가 있다 (Beaumont *et al*.,1991). 폐사가 증가한 또 하나의 원인은 2010년 8월말부터 9월초까지 태풍 및 집중호우에 의한 염분농도의 급격한 변동이 폐사에 영향을 미친 것으로 추정된다 (Soletchnik *et al*., 2005). 환경 요인 이외의 성장 부진 및 폐사증가 요인으로는 시험 입식시 우량개체의 선별 미흡 및 시험기간 중 해적생물의 통제 (창리 해역) 가 미흡한 것도 여러 원인 중의 하나로 볼 수 있다.

창리 해역의 폐사율이 진산리 해역에 비해 높게 나타난 것은 위에서 언급한 여러 환경조건들이 진산리 해역에 비해 불리한 것으로 보이며, 이 경우 금후 대규모의 갯벌굴 양식장 개발시 천수만 내측의 환경조건에서는 양식장 적지선정에 더 많은 주의가 필요한 것으로 나타났다. 진산리 해역 또한 주변의 대형 리조트 건설 등에 따른 오염원의 관리가 필요한 것으로 여겨진다. 창리 해역에서 나타나는 특징적인 것은 주변 갯벌에 암반이 많아 굴의 천적인 해적생물 중 불가사리와 대수리 등 각종 육식 복족류가 진산리 해역에 비해 많이 서식하고 있는 점이다. 2012년 4월경부터는 대수리의 알이 시험 망 또는 주변에 부착하였고, 발생 후 성장한 유패들이 시험 망 안에서 굴을 식해하는 것으로 추정된다. 그러나 진산리 해역은 저질이 펄 및 모래질로 구성되어 암반지역에서 많이 서식하는 불가사리, 대수리 등과 같은 해적생물들이 극히 적어 해적생물에 의한 폐사는 크지 않은 것으로 여겨진다 (Mineur, *et al*., 2007).

갯벌굴 양식의 성공조건은 적정 크기 우량종패의 선별입식이 필수적이며, 성장 촉진과 폐사 저감을 위해서는 굴이 성장함에 따라 적정밀도의 분산 작업으로 서식공간을 확보하고, 망목을 넓혀 자유로운 먹이활동 및 스트레스를 저감시켜주는 것이 바람직하겠다. 폐사율을 줄이기 위한 또 하나의 방안은 고수온기와 저수온기에 종패 입식 시 폐사를 증가시키는 요인이 될 수 있기 때문에 종패 입식은 여름철과 겨울철을 피하는 것이 성장과 생존율을 향상시킬 수 있을 것이며, 종패 선별 및 운송 등에 의한 스트레스를 감소시킬 필요가 있다. 또한 중간육성을 거친 종패는 일정기간 기초 단련 이후에 본양성 입식을 하는 것이 바람직하겠다.

요 약

한국 서해안 2개 지역에서 수평망식 갯벌굴의 성장과 폐사에 미치는 갯벌 환경요인의 영향을 밝히기 위하여 갯벌굴 양식장의 특성을 조사하였다. 갯벌굴의 양식 적지는 주로 서해안에 산재되어 있으나 지역별 생육환경 및 성장특성은 아직까지 전혀 조사된 바가 없어 양식적지 선정에 어려움을 겪고 있다. 따라서 본 연구에서는 수평망 양식이 이루어지고 있는 충남 태안지역과 서산지역에 대한 갯벌굴의 성장 및 수질, 저질 등에 관한 기초 환경조사를 실시하였다. 하계 및 동계의 기온과 수온, 염분 등은 갯벌굴의 생존에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되며, 양식여건은 서산에 비해 태안지역이 좀 더 적합한 것으로 나타났다. 갯벌굴의 성장과 사망률을 측정한 결과 태안지역이 서산지역에 비해 높은 성장률과 낮은 사망률을 보였다. 폐사율 역시 종료 시점인 2011년 6월에 서산지역의 폐사율이 높았다. 수평망식 갯벌굴의 성장은 태안지역이 서산지역 보다 더 높게 나타났다. 갯벌굴 종패의 성장 및 경제성 확보가 가능한 적정 수용밀도는 50 × 80 cm 크기의 플라스틱 양성망의 경우 200개체 내외가 적절한 것으로 여겨진다. 갯벌굴의 양식적지 선정 및 우량종패의 입식과 적정 밀도로의 선별 분산은 갯벌굴의 성장과 폐사에 크게 영향을 미칠 뿐만 아니라 양식의 성패를 좌우할 수 있는 것으로 나타났다. 한국 정부에서는 2012년부터 갯벌굴을 수산물 10대 고부가가치 전략품목으로 선정하여 친환경 양식 산업으로 육성하고 있다.

사 사

본 연구는 인하대학교 산학협력단 (개체굴 시범 연구사업 41526-01) 의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

Bae, P.A. and Han, C.H. (1998) Effects of Nursery Environmental Factors on the Growth of Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*. *Journal of Aquaculture*. **11(3)**; 391-400

Baek, S.H., Lee, J. and Han, M.S. (2008) Study of the Food Characteristics on Pacific Pyster *Crassostrea gigas* and Manila Clam Ruditapes phillippinarum in the Intertidal Zone of Taeahn, Korea. *Korean Journal of Environmental Biology*. **26(3)**; 145-158

Beaumont, A.R and Fairbrother, J.E. (1991) Ploidy Manipulation in molluscan shellfish; a review. *Journal of shellfish Research*. **10**: 1-18

Calvo, G.W., Luckenbach, M.W., Allen, S.K. and

Burreson E.M (2000) A Comparative Field Study of *Crassostrea ariakensis* and *Crassostrea virginica* in Relation to Salinity in Virginia. *School of Marine Science Virginia Institute of Marine Science College of William & Mary Gloucester Point*, **VA 23062**

Cho, C.H. and Kim, Y.S. (1977) Microenvironment in Oyster Farm Area 1. On the Eutrophication and Raft Density in Geoje Bay. *Source Bulletin of the Korean Fisheries Society*. **10(4)**; 259-265

Choi, S.D., Kim, S.Y., Yang, M.H., Park, J.S., Rha, S.J., Woo, C.y., Kim, D.Y. and Jung, D.S. (1999) Mass Mortality of Oyster, *Crassostrea gigas* in kamark Bay 1. Environmental Factors Oyster Farming Area. *Journal of Rescarch Institute of Industrial Technology and Regional Development Yosu National University*. **8**; 259-266

Cheung, S.G. and S.W. Lam. 1995. Effect of salinity, temperature and acclimation on oxygen consumption of Nassarius festivus (Powys 1984) (Gastropoda: Nassatius festiidae). Comp. *Journal of Physiology and Biochemistry*. **111A**; 625-631.

Davis, C.V. and Barber, B.J. (1999) Growth and survival of selected lines of eastern oysters, *Crassostrea uirginica* (Gmelin 1791) affected by juvenile oyster disease. *Journal of Aquaculture*. **178**; 253-271

Guo, X., DeBrosse, G.A. and Allen, Jr. S. K. (1996) All-triploid Pacific oysters (*Crassostrea gigas* Thunberg) produced by mating tetraploids and diploids. *Journal of Aquaculture*. **142**; 149-161

Gagnaire, B., Frouin, H., Moreau, K., Thomas-Guyon, H. and Renault, T. (2006) Effects of temperature and salinity on haemocyte activities of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Fish & Shellfish Immunology*. **20**; 536-547

Hand, S.C. and W.B. Stickle. 1977. Effects of tidal fluctuations of salinity on pericadial fluid composition of the American Crassostrea virginica. *Marine Biology*. **42**; 259~271.

Hyun, K.H., pang, I.C., klinck, J.H., choi, K.S., Lee, J.B.,powell, E.M., Hofmann, E.E. and Bochenek, E.N.(2001) The effect of food composition on Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg) growth in Korea: a modeling study. *Journal of Aquaculture*. **199**; 41-62

Jeong, W.G., Choi, J.D., Kim, Y.S., Cho, C.H. and Yeom, M.G. (1999) Studies on Proper Management of Oyster Farms in Pukman Bay, Korea. Ⅰ. The Caracterisrics of Water and Sediments. *Journal. Ins Marine Industry*. **12** ; 83-93

Jeong, W.G., Cho, S.M. and Cho, C.H. (1999) Suspended Time Dependenrt Meart Weight Increase of Oyster, *Crassostrea gigas*, in Pukman Bay, Korea. Korean *Journal of Malacology*. **15(1)**; 41-47

Kinne, O. 1967. Physiological of esturain organism with special reference to salinity and temperature; general aspect, In: Lauff, G.H. (Ed). Esturaies. *American Association for the Advancement of Science*. No. **83**, Washington, DC, 525~540.

Kheder, R.B., Quere, C., Moal, J. and Robert, R. (2010) Effect of nutrition on *Crassostrea gigas* larval development and the evolution of physiological indices. Part A: Quantitative and qualitative diet effects. *Journal of Aquaculture*. **305**; 165-173

Kim, B.Y. (1996) Studies on Artificial Seeding Production of Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*. *Yosu National Fisheries University*

Kim, J.B., Lee, S.Y., Jung, C.G., Jung, C.S. and Son, S.G. (2007) The Effects of the Spat Planting Time and Environmental Factors in the Arkshell, *Scapharca broughtonii* Schrenck Culture. *Journal of Aquaculture*. **20(1)**; 31-40

Kim, Y.H. (1999) oyster culture. in: invertebrate culture. *Daekyoung press, Daejeon*, Korea, 11-69

Kim, Y.S. (1980) Effciency of energy transfer by a population of the farmed Pacific Oyster, *Crassostrea gigas* in Geoje-Hansan Bay. *Source Bulletin of the Korean Fisheries Society*. **13**: 179-193

Lacoste, A., Malham, S.K., Gelebart, F., Cueff, A. and Poulet, A. (2002) Stress-induced immune chanfes in the oyster *Crassostrea gigas*. *Developmental and Comparative Immunology*. **26**; 1-9

Lee, J.M., Park, A.J., Cho, S.M and Park K.D. (2008) Growth Comparison of the Pacific Oyster Spat, *Crassostrea gigas*, by Three Different Suspended Time Around Coast of Gyeongnam. *Korean Journal of Biological Sciences*. **24(2)**; 109-119

Lim, H.J., Lee, T.S., Cho, P.G., Back, S.H., Byun, S.G. and Choi, E.H. (2011) The Production Effciency of Cupped Oyster *Crassostrea gigas* Sprat According to Clutch and Growth Comparing Diploid and Triploid Oysters in Off-bottom Culture for Tidal Flat Utilization. *Source Bulletin of the Korean Fisheries Society*. 44(3);259-266

Min, K.S., Kim, T.i., Hur, S.B., Hur, Y.B., Park, D.W, Lee, H.Y., and Hwang, M.s. (1999) Studies on the artificial apat collection method for the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Bulletin of National Fisheries Research and Development Agncy*. 57; 35-41

Mineur, F., Belsher, T., Johnson, M.P., Maggs, C.A. and Verlaque, M. (2007) Experimental assessment of oyster transfers as a vector for macroalgal introductions. *BIOLOGICAL CONSERVATION*. **137**; 237-247

Montes, J., Ferro-Soto, B., Conchas, R.F. and Guerra, A. (2003) Determining culture strategies in populations of the European flat oyster, *Ostrea edulis*, affected by bonamiosis. *Journal of Aquaculture*. **220**; 175-182

Park, Y.C. and Choi, K.S. (2002) Growth and Carrying Capacity of Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*, in Kamak Bay, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* **20(4)**; 378-385

Park, J.S., Kim, H.C., Choi, W.J., Lee, W.C., Kim, D.M., Koo, J.H. and Park, C.K (2002) Estimating the Carrying Capacity of a Coastal Vay for Oyster Cultuere Ⅱ. The Carrying Capacity of Geoje-Hansan Bay. Source Bulletin of the Korean Fisheries Society.

35(4); 408-416

Park, H.S. and Yi, S.K. (2002) Assessment of benthic environment conditions of oyster and mussel farms based on macrobenthos in Jinhae bay. *Journal of the korean Society For Marine Envirinmental Engineering*. **5(1)**; 66-75

Rico-Villa, B., Pouvreau, S. and Robert, R. (2009) Influence of food density and temperature on ingestion, growth and settlement of Pacific oyster larvae, *Crassostrea gigas*. *Journal of Aquaculture*. **287**; 395-401

Royer, J., Ropert, M. and Costil, K. (2007) Spatio-Temporal Changes in mortality, Growth and condition of the pacific oyster, *Crassostrea gigas*, in Normandy(FRANCE). *Journal of Shellfish Research*. **26**; 973-984

Shumway, S. 1977. The effects of fluctuating salinity on the tissue water content of eight of bivalve molluscs. *Journal of Comparative Physiology*. **116**; 269~285.

Shin, Y.K., Hur, Y.B., Myeong, J.I. and Lee, S. (2008) Effect of Temperature and Body Size on Oxygen Consumption and Ammonia Excretion of Oyster, *Crassostrea gigas*. *Korean Journal of Malacology*. **24(3)**; 261-267

Soletchnik, P., Lambert, C. and Costil, K (2005) Summer Mortality of *Crassostrea gigas* (thunberg) in Relation to Environmental Rearing Conditions. *Journal of shellfish Research*. **24(1)**; 197-207

Summerhayes, S.A., Bishop, M.J., Leigh, A. and Kelaher, B.P. (2009) Effects of oyster death and shell disarticulation on associated communities of epibiota. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **379**; 60-67

Widdows, J. 1985a. The effects of fluctuating and abrupt changes in salinity on the performance of Mytilus edulis, In: Gray, J.S. Christiansen, M.E. (Eds.). Marine Biology of Polar Regions and effect of stress on marine orgarism. *Wiley-Interscience*, **555-566**.

Yoo, S.K. and Park, K.Y. (1981) Blological Studies on Oyter culture(Ⅲ). *Source Bulletin of the Korean Fisheries Society*. **13(4)**; 207-212

신윤경, 김윤, 정의영, 허성범, 2000. 바지락 (*Ruditapes philippinarum*)의 온도 및 염분 내성. 한수지, **33(3)**; 213-218.