

경기만 바지락양식장의 저질조성 서식밀도 및 바지락성장의 특성에 관한 보고

박광재¹, 최용석², 허승², 강희웅², 한현섭¹, 오해종¹

¹국립수산과학원 갯벌연구소, ²국립수산과학원 서해수산연구소

Report on the sediment types, environmental parameters, density and biometry of Manila clam *Ruditapes philippinarum* in Gyeonggi Bay off the west coast of Korea

Kwang-Jae Park¹, Yong-Suk Choi², Seung Heo², Hee-Woong Kang², Hyun-Seob Han¹ and Hae-Chong O¹

¹Tidal Flat Research Institute, NFRDI, Kunsan 573-882, Korea

²West Sea Fisheries Research and Development Institute, NFRDI, Incheon 400-420, Korea

ABSTRACT

From January to December 2007, we have investigated sediment types, environmental factors and density of clam *Ruditapes philippinarum* inhabited at Oeri, Naeri, Jonghyeon and Bangmiri tidal flats in Gyeonggi Bay off the west coast of Korea. Sediment types of Oeri and Jonghyeon were characterized with well sorted muddy sand. In contrast, Bangmiri tidal flat was mainly composed of poorly sorted gravelly muddy silt and Naeri was characterized with very poorly sorted muddy-sandy gravel. During the course of study, the surface water temperature, salinity, dissolved oxygen and pH ranged 3.2 to 27.0°C, 21.7 to 33.3 ‰, 5.6 to 12.7 mg/l and 7.36 to 8.82, respectively. The suspended solid (SS) ranged from 3.2 to 1,266.0 mg/l and chlorophyll-a level in the water column ranged 0.3-36.1 µg/l, respectively. The density of clam in the study areas was mainly determined by the harvesting activities rather than the types of substrate. Relatively higher density of clam was observed in Oeri and Bangmiri where the clam seeds were sowed by the villagers. Condition factor of clams were found to be higher in Oeri where the substrate sorting was better with higher level of chlorophyll a. It was believed that sediment types and the level of available food the two governing factors controlling the density and growth of clam in Gyeonggi Bay.

Key words: Manila clam, *Ruditapes philippinarum*, density, sediment type, shell and meat growth

서론

바지락 (*Ruditapes philippinarum*) 은 한국, 일본, 중국을 비롯하여 미국 북서 해안과 유럽 국가들의 조간대에 널리 분포하는 양식 종으로서, 서해안 갯벌의 패류 생산량을 좌우하는 중요한 어업자원이다. 바지락은 담수의 영향을 받으면서 간출시간 2-3시간 되는 곳에서부터 수심 3-4 m 사이인 조간대에 주로 분포하는 유용 양식 대상종으로서 양식은 경기도 연안

의 간석지에서 1910년에 시작되었다고 보고되어 있으며, 본격적인 양식은 1980년대로 알려지고 있다 (유, 2000).

경기만은 대규모의 간척매립과 신도시 건설, 수도권의 도시 팽창 및 공업화에 의한 환경오염이 심화되고 있어 수산생물의 산란·서식장이 훼손되고 어업자원이 급감하고 있으며, 남획과 환경오염이 지속될 경우 어장의 황폐화뿐만 아니라 어촌경제가 회복하기 어려운 상태로 진입할 가능성이 높은 지역이다.

서해안 갯벌에서 가장 중요한 양식 품종인 바지락 양식 생산량은 1992년에 53,648톤으로 최고치를 나타낸 후, 1997년에는 7,703톤으로 급격히 감소하였다가 2009년에는 27,905톤으로 안정세를 유지하고 있다. 바지락의 생산량 감소는 대규모 간척과 매립사업으로 인한 패류 서식장의 축소를 비롯하여 양식어장의 오염, 기생충 감염 (Park et al., 1999; Park and Choi, 2001), 기후변화로 인한 대량폐사 (박 등, 2010)

Received September 30, 2010; Revised October 25, 2010; Accepted November 19, 2010

Corresponding author: Kwang-Jae Park

Tel: +82 (63) 467-4350 e-mail: kjpark@nfrdi.go.kr

1225-3480/24363

Stocking Density and Morphological Characteristics of Manila Clam, *Ruditapes philippinarum* beds to the ingredient of substratum in Gyeonggi Bay, Korea

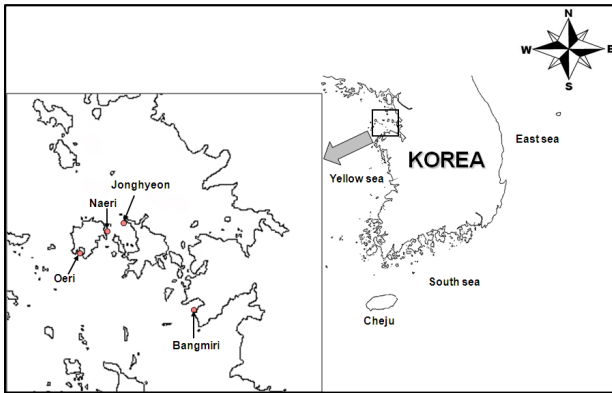


Fig. 1. Location of sampling stations in Gyeonggi Bay.

때문으로 알려지고 있다.

바지락에 관해서는 Choi *et al.* (2000) 와 Lee *et al.* (1999) 의 서식환경, 여과섭식을 통한 갯벌의 자정작용 (Kohata *et al.*, 2003), 양식장 저질의 특성 (Cho *et al.*, 2001), 성장과 생식 (Robert *et al.*, 1993), 형태적 변이 (Kim, 1978; Yoo *et al.*, 1978; Kwon *et al.*, 1999), Lee *et al.* (1996), Kang *et al.* (2000) 와 Park *et al.* (2010) 의 양식밀도에 따른 성장 및 비만, 생존의 차이에 관한 선행 연구들이 있다. 양식장 서식환경과 서식밀도에 대한 축적된 정보는 바지락의 성장과 비만에 크게 반영되고 있지만, 선행 연구사례가 많지 않다. 따라서 본 연구에서는 서해안의 경기만에 위치한 4곳의 바지락 양식장에서 저질환경특성과 수질환경이 바지락의 서식밀도와 성장, 형태에 관하여 조사하였다.

재료 및 방법

경기만의 주요한 바지락 양식장을 조사하기 위하여 인천 지역에서 내리와 외리, 경기 지역에서 중현과 백미리 4개 지역을 선정하여 2007년 1월부터 12월까지 매월 저질과 수질의 서식환경, 바지락의 서식밀도와 생태를 조사하였다 (Fig. 1).

퇴적물 입도분석은 퇴적물 시료에 유기물이 완전히 제거될 때까지 10% 과산화수소를 첨가하였으며, 잔류하는 과산화수소는 100°C 이상으로 가열하여 증발시킨 후 3회 이상 증류수로 희석하여 퇴적물 내의 염분을 제거하였다. 처리된 시료는

63 μm 의 표준체로 거른 후, 체에 걸린 사질 퇴적물은 건조하여 표준체로 분리하여 중량을 측정하였다 (Ingram, 1971). 63 μm 의 표준체를 통과한 니질 퇴적물은 황산제 (Sodium hexametaphosphate) 를 0.5% 첨가한 후 자동입도분석기 (sedi-graph 5100) 로 분석하였다. 또한, 각 입도구간별로 측정된 자료는 통계 처리하여 평균 입도와 분급도를 계산하였으며, Folk (1968) 의 분류에 따라 퇴적물의 종류를 결정하였다.

퇴적물 환경을 파악하기 위하여 산화발성황화물 (AVS), 화학적산소요구량 (COD), 강열감량 (IL), 함수율은 해양환경공정시험방법 (해양수산부, 2002) 에 따라 분석하였다.

수질 환경을 파악하기 위하여 수온, 염분, 수소이온농도, 용존산소량은 다항목수질측정기 (Hydrolab MS 5, USA) 를 이용하여 현장에서 직접 측정하였으며, 부유성입자물질, Chlorophyll-a의 농도는 해양환경공정시험방법 (해양수산부, 2002) 에 따라 분석하였다.

서식밀도는 조사지역에서 50 \times 50 cm (0.25 m²) 방형구를 이용하여 3회 반복 채집한 후 평균 서식밀도를 산정하였다. 채집된 바지락은 냉장 상태로 실험실로 옮긴 후 버니어캘리퍼스를 이용하여 각장, 각고, 각폭을 0.01 mm 단위까지 측정하였으며, 육중량은 개각하여 습중량으로, 패각 중량은 상온에서 건조시킨 후 전자저울로 0.1 g까지 측정하였다. 이것으로부터 비만도지수 (Condition Index) 를 다음과 같은 식으로 산출하였다. 비만도 (CI) = 체조직습중량 / 패각 건조중량을 사용하였다. 또한 바지락의 형태적 특성을 파악하기 위하여 각폭 / 각장 \times 100이 50보다 작으면 장형, 50이상은 단형으로 구분하였다 (Choi, 1965).

결과 및 고찰

조사기간 동안 경기만 4곳의 바지락 양식장의 퇴적물을 입도분석한 결과를 Table 1에 나타내었다. 평균 입자의 크기는 내리가 0.7 ϕ 로 가장 크고 외리와 중현은 3.8 ϕ 이었으며, 백미리는 4.9 ϕ 로 가장 작은 것으로 나타났다. 평균 분급도는 내리에서 3.3 ϕ 으로 가장 크고 백미리는 2.5 ϕ 이었으며, 외리와 중현은 1.5 ϕ 내외로 작게 나타났다. 저질분류에서 입자 크기와 분급도에서 크게 나타난 내리는 니사질역이었으며, 입도에서 작고 분급도에서 큰 백미리는 역질니실트로 나타났다. 입자 크기

Table 1. Results of grain size analysis at manila clam beds in Gyeonggi Bay

Area	Mean grain size (ϕ)	Mean sorting (ϕ)	Type
Oeri	3.8 \pm 0.1	1.5 \pm 0.1	mS
Naeri	0.7 \pm 0.6	3.3 \pm 0.4	msG
Jonghyeon	3.8 \pm 0.2	1.7 \pm 0.2	mS
Bangmiri	4.9 \pm 0.4	2.5 \pm 0.1	gmZ

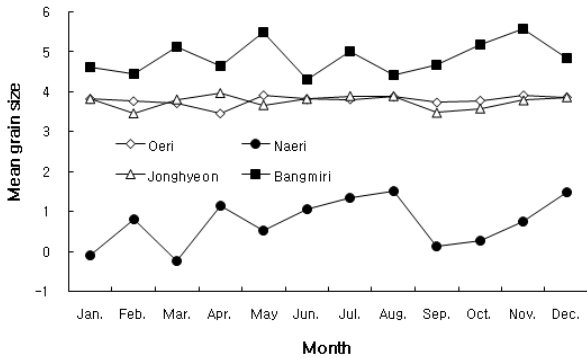


Fig. 2. Monthly variations of mean grain size in Gyeonggi Bay.

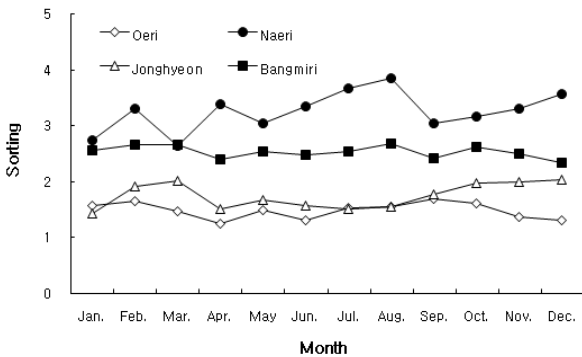


Fig. 3. Monthly variations of sorting in Gyeonggi Bay.

와 분급도에서 작은 외리와 종현은 니질사로 나타났다. 4개 바지락 양식장의 입자 크기와 분급도의 월별 변화에서는 큰 차이를 보이지는 않았으나 (Fig. 2) 지역적으로는 차이를 보이고 있었다 (Fig. 3).

퇴적물의 황화물은 니사질역인 내리에서 연평균 0.08 mg/g · dry로 다른 지역과 비교하여 높게 나타났으며, 월별 변동에서도 4월과 12월에 0.2 mg/g · dry 이상의 높은 값을 나타내기도 하였다 (Fig. 4). 역질니실트인 백미리에서는 연평균 0.02 mg/g · dry로 나타났으며, 니질사인 외리와 종현은 연평균 0.01 mg/g · dry 이하의 낮은 값으로 나타났다.

퇴적물의 화학적산소요구량은 연평균 6.8 mg/g · dry로 백미리에서 가장 높게 나타났으며, 종현에서 연평균 4.6 mg/g · dry으로 가장 낮게 나타났다 (Fig. 5).

퇴적물의 강열감량은 연평균 3.6%로 내리에서 가장 높게 나타났으며, 종현에서 연평균 1.9%로 가장 낮게 나타났다 (Fig. 6).

함수율은 백미리에서 연평균 28.5%로 가장 높게 나타났으며, 내리에서 연평균 16.7%로 가장 낮게 나타났다 (Fig. 7). 백미리의 함수율이 가장 높은 것은 퇴적물에 니질이 가장 많이

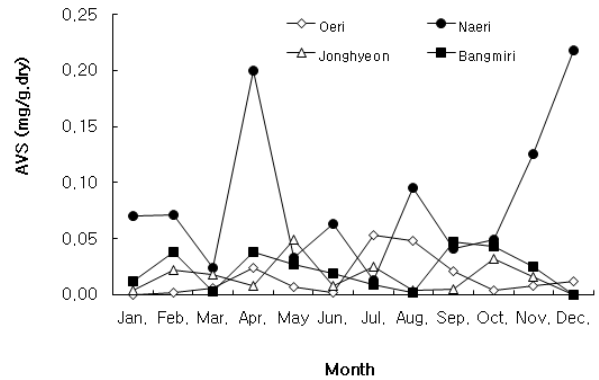


Fig. 4. Monthly variations of AVS in Gyeonggi Bay.

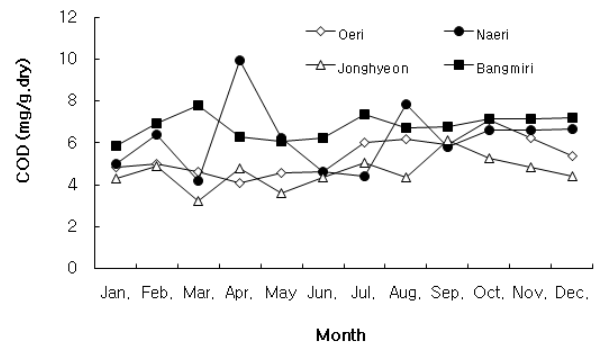


Fig. 5. Monthly variations of chemical oxygen demand (COD) in Gyeonggi Bay.

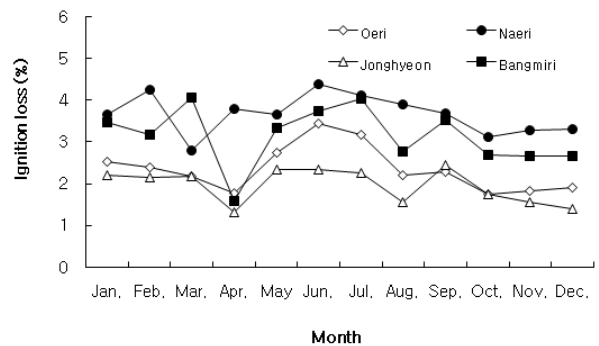


Fig. 6. Monthly variations of ignition loss in Gyeonggi Bay.

함유되었기 때문이며, 내리의 함수율이 가장 낮은 것은 퇴적물에 자갈이 가장 많이 함유되었기 때문으로 판단된다. 퇴적물 환경에서 황화물을 비롯한 화학적산소요구량, 강열감량, 함수율은 지역과 시기에 따라 차이를 보이고 있었으나, 바지락이 서식하는데 지장이 없는 범위로 판단된다. 조사해역의 수온은 2월에 가장 낮았으며, 점차 증가하여 8월에 가장 높게 나타났

Stocking Density and Morphological Characteristics of Manila Clam, *Ruditapes philippinarum* beds to the ingredient of substratum in Gyeonggi Bay, Korea

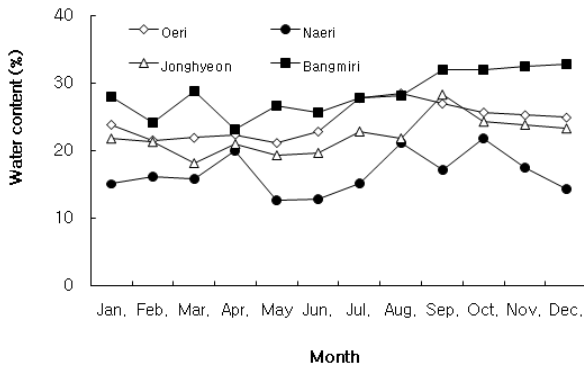


Fig. 7. Monthly variations of water contents in the sediments Gyeonggi Bay.

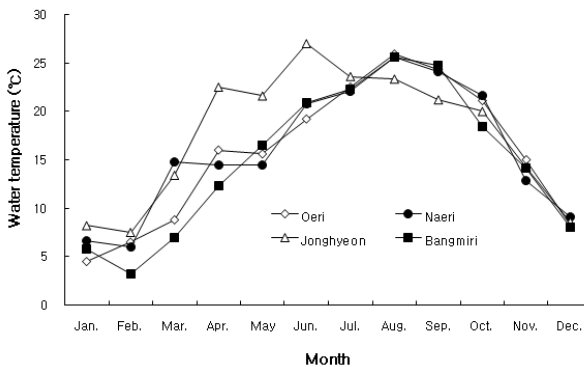


Fig. 8. Monthly variations of surface water temperatures in Gyeonggi Bay.

다가 이후에 감소하는 것으로 나타났다 (Fig. 8). 경기만의 4 곳 바지락 양식장 중에서 종현의 수온이 연평균 17.6°C로 다른 지역과 비교하여 높게 나타났으며, 월별 변동에서도 4월부터 6월에 높게 나타났다. 백미리에서는 연평균 14.9°C로 다른 지역과 비교하여 가장 낮게 나타났으며, 월별 변동에서도 2월부터 4월에 낮게 나타났다. 조사해역의 염분은 겨울철과 봄철에 높았다가 여름철에 장마의 영향으로 낮게 나타났으며, 이후에 다시 증가하는 것으로 나타났다 (Fig. 9). 경기만의 4 곳 바지락 양식장 중에서 백미리의 염분이 연평균 29.6‰로 다른 지역의 30.1-30.8‰과 비교하여 낮게 나타났으며, 월별 변동에서도 2월과 8월부터 10월에 낮게 나타났다. 백미리 바지락 양식장의 염분이 대체적으로 낮게 나타났는데 이는 백미리 양식장 쪽으로 흐르는 하천에 의한 영향으로 판단된다. 바지락의 성장에 각장과 중량 및 비만도의 증가율을 수온환경과 관련시켜 보면, 수온이 낮을 때보다 수온이 높은 시기에 성장률이 높았다. 바지락은 수온에 대한 저항성이 강하여 37.5°C의 고수온인 경우에도 평균 10.4일간 생존하며, 최고 44°C에서도 0.6 시간이나 생존한다 (Won and Hur, 1993). 본 연구기간 동안

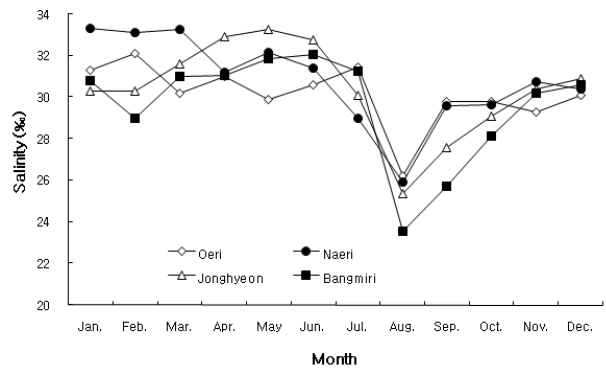


Fig. 9. Monthly variations of salinity in Gyeonggi Bay.

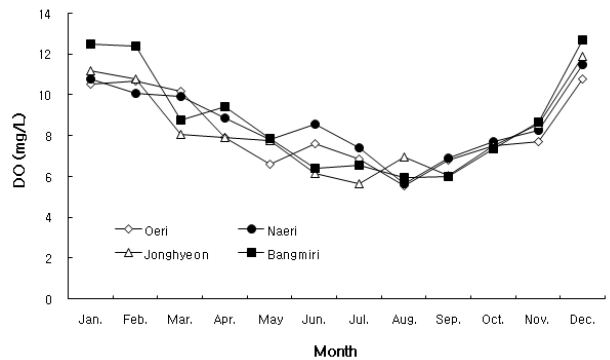


Fig. 10. Monthly variations of dissolved oxygen in the water column Gyeonggi Bay.

양식장의 수온은 3.2-27.0°C, 염분은 23.6-33.3‰로 수온과 염분이 생존에 영향을 미치는 범위는 아니었다.

조사해역의 용존산소는 수온이 낮은 겨울철에 높았으며, 봄철에 점차 감소하여 수온이 높은 여름철에 더욱 낮게 나타났다가 이후에 증가하는 것으로 나타났다 (Fig. 10). 경기만 바지락 양식장 4 곳의 용존산소는 대체적으로 비슷하게 나타났다. 조사해역의 pH는 시간과 공간적으로 비슷하게 나타났으며, 바지락의 서식에 영향을 미치지 않는 범위인 것으로 판단된다 (Fig. 11). 용존산소는 수중 생물의 호흡과 밀접한 관계를 가지며, 유기물의 분해 시 산소는 감소하고 광합성 시 산소는 수주 (water column) 내에서 증가한다. 특히, 대기 중의 산소가 수온, 염분, 대기압 및 난류 등 에 의해서 대기 중으로부터 재공급되어지고 수중 생태계 내의 건강성을 나타내는 중요한 인자 중 하나로 빈산소에 의한 폐사 등 생존에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있으며, 바지락은 수온, 생리상태 등에 따라서 다르지만 치사 용존산소량은 대략 1 mg/l이며, 동경만의 저서어류에서도 용존산소의 최저 값이 2 mg/l 이상이면 생존률이 높다고 보고된 바 있다 (Kasuya, 2005). 본 연구에서는

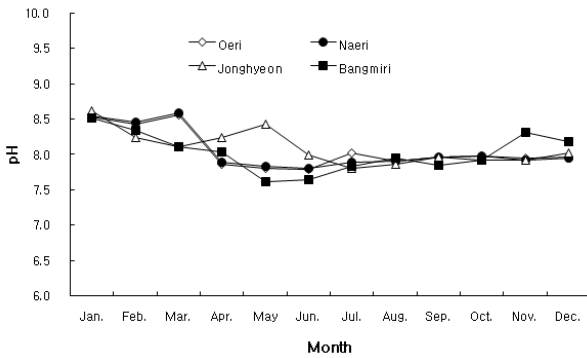


Fig. 11. Monthly variations of pH in the water column in Gyeonggi Bay.

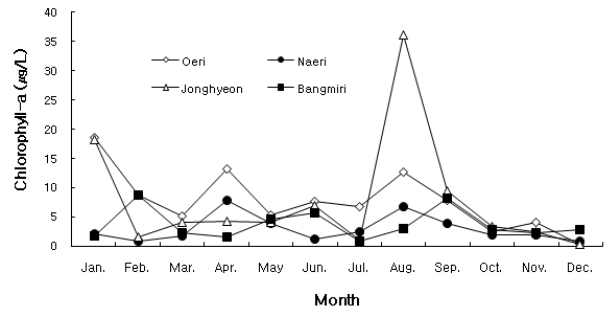


Fig. 13. Monthly variations of chlorophyll-a in the water column Gyeonggi Bay.

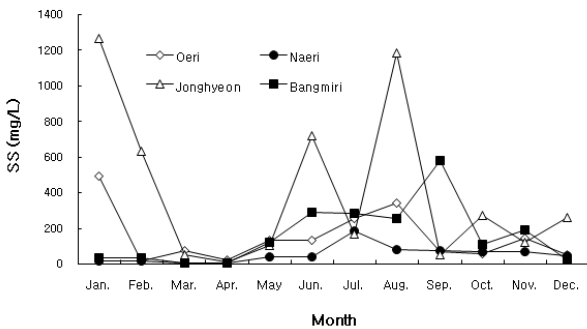


Fig. 12. Monthly variations of suspended solid in the water column Gyeonggi Bay.

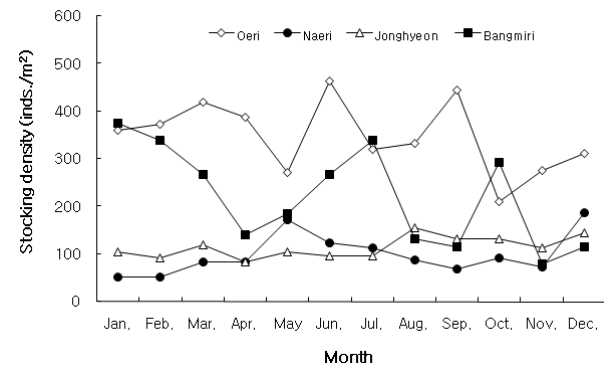


Fig. 14. Monthly variations of stocking density in Oeri, Naeri, Jonghyeon and Bangmiri in Gyeonggi Bay.

수질등급 1등급에 가까운 용존산소 (5.6-12.5 mg/l) 를 나타냈으며, pH는 7.62-8.59로 다른 양식장과 비교해도 큰 차이가 없음을 나타냈다.

조사해역의 부유성입자물질은 겨울철에 높았으며, 봄철에 감소하였다가 여름철에 다시 증가하고 가을철에 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 12). 부유성입자물질은 대체적으로 종현동에서 높게 나타났는데 이는 종현동의 저질이 가는 모래질로 약간의 파도에도 부유가 잘 되기 때문으로 판단된다. 부유성입자물질은 해수 광 투과율의 지표로서 다량으로 존재할 경우 빛의 투과를 방해하여 광합성을 저해하고, 상-하층간의 혼합정도 및 식물플랑크톤의 생성정도에 따라 크게 변화하는 특성을 가진다. 특히 서해안의 경우 낮은 수심, 강풍, 조차에 의한 빠른 유속에 의하여 다른 해역에 비하여 높은 부유성입자물질 농도를 보이는 것이 특징이다. 조사해역의 클로로필-a는 겨울철에 낮았다가 봄철과 여름철에 높았으며, 가을철에 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 13). 클로로필-a는 평균적으로 외리에서 높게 나타났으며, 종현동에서는 부유성입자물질이 이상적으로 높은 시기에 높게 나타났는데 이는 종현동의 저질이 가는 모래질로 약간의 파도에도 부유가 잘 되어 저질에 있던 저서미세조류가

많이 채집되었기 때문으로 판단된다. 클로로필-a는 해역 자생 유기물질 중의 하나인 식물성플랑크톤의 간접적인 양을 나타내므로, 향후 식물성플랑크톤을 비롯하여 저서미세조류에 대한 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

조사기간 동안 경기만 4곳의 바지락 양식장의 서식밀도 변화를 Fig. 14에 나타내었다. 서식밀도는 니사질인 외리에서 연평균 347 ind./m²로 가장 높게 나타났으며, 역질니실트인 백미리에서는 연평균 221 ind./m²로 나타났다. 2개 지역의 월별 변동에서 외리는 6월과 9월에 백미리는 7월과 10월에 증가한 것으로 나타났는데, 이는 씨뿌림에 의한 것으로 나타났다. 니사질인 종현은 연평균 114 ind./m²였으며, 니사질역인 내리에서는 연평균 99 ind./m²로 가장 낮게 나타났다. 월별 변동에서 큰 차이를 보이지 않는 2개 지역은 씨뿌림을 하지 않은 것으로 나타났다. 본 연구에서 서식밀도는 저질조성과 상관없이 씨뿌림에 의하여 외리와 백미리에서 높았으며, 내리와 종현동에서 낮게 나타났다. Lee *et al.* (1999) 은 지역에 따라 차이가 있으나 바지락의 서식에 적합한 퇴적물은 사질 니토나역사질 니토이며 분급이 매우 불량한 퇴적물에서 바지락의 서식량이 많을 것이라 하였다. 본 연구결과에서 바지락 양식장의

Stocking Density and Morphological Characteristics of Manila Clam, *Ruditapes philippinarum* beds to the ingredient of substratum in Gyeonggi Bay, Korea

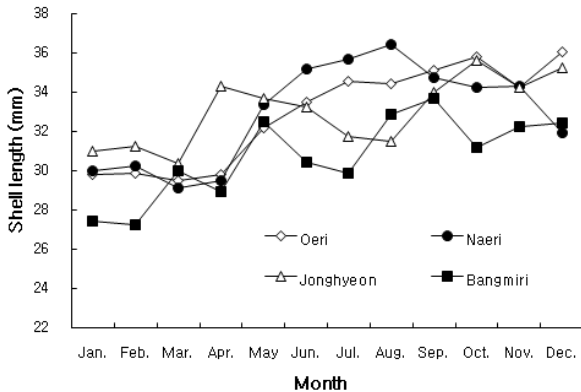


Fig. 15. Monthly variations of shell length in Gyeonggi Bay. Shell growth of Manila clam observed at Oeri, Naeri, Jonghyeon and Bangmiri tidal flats in 2007.

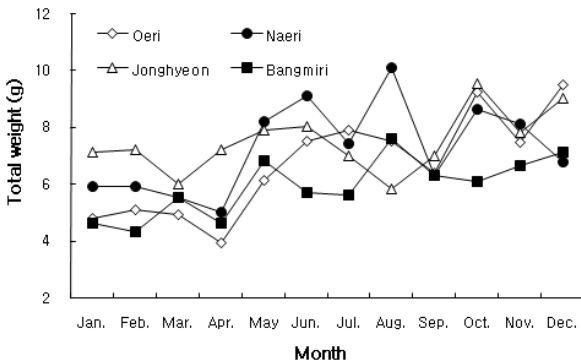


Fig. 16. Monthly mean somatic tissue weight of Manila clam recorded at Oeri, Naeri, Jonghyeon and Bangmiri in Gyeonggi Bay.

서식밀도는 저질의 조성과 분급에 영향을 받지만, 씨뿌림이나 수확과 같은 어업행위에 의해 더욱 영향을 받았다. 도는 감소하였기 때문이다.

경기만 4곳의 바지락 양식장에서 바지락의 각장과 전 중량의 변화를 Fig. 15와 Fig. 16에 나타내었다. 바지락의 각장과 전 중량은 2월까지 정체를 유지하다가 3월과 4월에는 감소하였으며, 5월부터는 증가하는 경향을 보였다. 3월과 4월의 각장과 전 중량의 감소는 봄철 폐사에 의한 것으로 큰 개체 위주로 폐사하였기 때문이며, 5월 이후에 급격한 감소는 어획에 의하여 큰 개체를 위주로 수확하기 때문이다. 위의 지역들은 바지락 종패가 대량으로 생성되는 지역이 아니기 때문에 새로운 개체의 가입으로 인한 각장과 전 중량의 감소는 적은 편으로 나타났다.

바지락의 건강도를 나타내는 비만도는 경기만 4곳의 바지락 양식장의 1월 평균 0.48에서 2월에는 0.39로 감소하여 최저를 보였으며, 이후 점차 증가하여 5월에 0.64로 최대를 보이

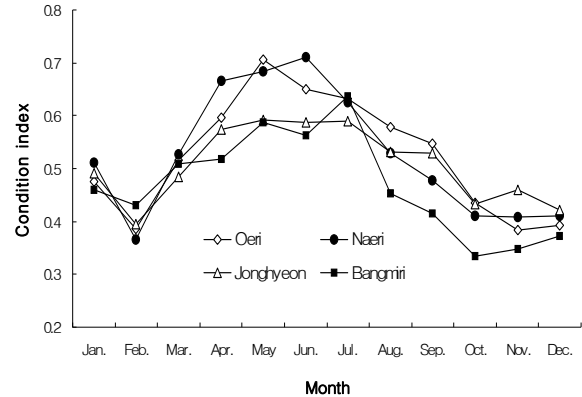


Fig. 17. Monthly mean condition index of Manila clam recorded at Oeri, Naeri, Jonghyeon and Bangmiri in Gyeonggi Bay.

고 지속적으로 감소하여 12월에 0.40으로 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 17). 비만도는 니사질역인 내리와 니질사인 외리에서 연평균 0.53으로 가장 높았으며, 종현이 0.51, 백미리는 0.47로 낮게 나타났다. 본 연구에서 바지락의 비만도는 저질 조성에서 분급이 매우 불량한 내리와 분급은 양호하지만 먹이 생물인 클로로필-a가 높았던 외리에서 높게 나타난 반면 종현과 백미리는 낮게 나타났는데 이러한 이유는 양식장의 노출시간이 길어 다른 양식장에 비하여 먹이를 섭취할 수 있는 시간이 짧았기 때문으로 판단된다.

각장에 대한 전중량 성장의 경우, 외리는 $Y = 0.268e^{0.095X}$, 내리는 $Y = 0.373e^{0.087X}$, 종현은 $Y = 0.290e^{0.0957X}$, 백미리는 $Y = 0.292e^{0.095X}$ 의 지수함수식으로 표시되었다. 그리고 각장에 대한 각고 성장의 경우, 외리는 $Y = 0.6519X + 1.0005$, 내리는 $Y = 0.6662X + 1.2739$, 종현은 $Y = 0.6684X + 1.4523$, 백미리는 $Y = 0.6506X + 1.3373$ 의 회귀직선식으로 표시되었다.

경기만 4곳 바지락 양식장의 바지락은 각폭 / 각장 $\times 100$ 의 평균값이 45.1-47.8로 모두 50 이하인 장형에 속하였다. Choi (1965)는 선행의 연구에서 각폭 / 각장 $\times 100$ 의 값이 만외에서는 39.9-50.5, 수문 근처에서는 40.6-50.2, 만내에서는 45.5-54.1, 하구에서는 49.1-58.0의 변이범위를 보여 만외와 수문이 적고 만내와 하구가 크다고 하였으며, 서식환경 조건이 비교적 좋은 곳에서는 패각의 문양이 명백하고 각장이 긴 장형이 되는 것이며, 서식 환경조건이 좋지 못한 곳에서는 문양이 퇴색되어 각장이 짧은 단형 바지락이 된다고 하였다. 또한 Lee et al. (1999)에서도 2,000개체/m²로 높은 밀도에서 단형의 둥근 바지락이 나타난 것은 높은 밀도에 의해 해수소통이 나빠진 데에도 이유가 있을 것이라고 하였다. 본 연구지역은 만내에 위치하고 있으며, 고밀도로 서식하지 않아 모두 50

이하인 장형이 출현한 것으로 판단된다.

요 약

경기만 4개 지역 바지락 양식장의 저질조성에 따른 바지락 서식밀도 및 형태적 특성에 대하여 2007년 1월부터 12월까지 조사하였다. 저질조성에서 외리와 종현은 니사질로 분급이 양호하였으며, 백미리는 역질니토로 분급이 불량하였고, 내리는 니사질역으로 분급이 매우 불량하였다. 서식밀도는 저질조성과 상관없이 씨뿌림에 의하여 외리와 백미리에서 높았으며, 내리와 종현동에서 낮게 나타났다. 비만도는 저질조성에서 분급이 매우 불량한 내리와 분급은 양호하지만 먹이생물인 클로로필-a가 높았던 외리에서 높게 나타났다. 조사기간 동안 수온은 3.2-27.0℃ 범위로 나타났으며, 염분은 21.7-33.3‰, 용존산소는 5.6-12.7 mg/l, pH는 7.36-8.82였다. 부유물질은 3.2-1,266.0 mg/l, 클로로필-a는 0.3-36.1 µg/l로 나타났다. 각 조사지역의 연간 바지락 비만도 및 성장은 해수중의 클로로필 농도와 유관한 것으로 사료되며, 이는 바지락의 먹이와 관련이 있는 것으로 사료되었다.

REFERENCES

- Cho, T.J., S.B. Lee and S.Y. Kim, (2001) Sedimentological and hydromechanical characteristics of bed deposits for the cultivation of Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in Gomso tidal flat. *J. Korean Fish. Soc.*, **34**: 245-253 (in Korean).
- Choi, S., (1965) On the morphological variations and special feature of the elongated and the stunted forms in the short necked clam, *Tapes japonica* in the west coast of Korea. *The Korean Journal of Zoology*, **58**: 56-63 (in Korean).
- Choi, Y.S., Y.R. Cho and C.S. Lee, (2000) The relationship between environmental conditions and morphological characteristics of manila clam, *Ruditapes philippinarum* in the west coast of Korea. *Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea*, **58**: 56-63 (in Korean).
- Folk, R. L., (1968) Petrology of sedimentary rocks Hemphill's Aystin, Texas, 170pp.
- Ingram, F. L., (1971) Sieve analysis in procedures in sedimentary petrology. Ed by Carver, R. E. Wiley-Interscience, 69-94.
- Kang, K.H., J.Y. Chang and Y.H. Kim, (2000) Growth comparison of short neck clams, *Tapes philippinarum* between the two culturing areas. *Korean Journal of Malacology*, **16(1-2)**: 49-54 (in Korean).
- Kasuya, T., (2005) Larval abundance, distribution and size composition of the clam *Ruditapes philippinarum* in Tokyo Bay. Bulletin of Fisheries Research Agency, 51-58 (in Japanese).
- Kim, Y.H., (1978) Study on the morphological variation of short necked clam, *Tapes japonica* (DESHAYES). *Bull. Gunsan Fish. J. Coll.*, **12(2)**: 23-26 (in Korean).
- Kohata, K., Hiwatarai, T., Hagiwara, T. (2003) Natural water-purification system observed in a shallow coastal lagoon. *Mar. Pollut. Bull.* 47(1-6), 148-154.
- Kwon, J.Y., J.W. Park, Y.H. Lee, J.Y. Park, Y.K. Hong and Y.J. Chang, (1999) Morphological variation and genetic relationship among populations of the shortnecked clam, *Ruditapes philippinarum* collected from different habitats. *J. Fish. Sci. Tech.*, **2(1)**: 98-104.
- Lee, Y.H., Y.J. Chang, H.K. Lim and G.S. Chung, (1996) Comparison of growth and survival rate in shortnecked clams, *Ruditapes philippinarum* from different seedling production areas. *Journal of Aquaculture*, 9(3), 223-232 (in Korean).
- Lee, C.S., Y.S. Choi and Y.R. Cho, (1999) Stocking density and culturing environment of the manila clam (*Ruditapes philippinarum*). *Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea*, **56**: 177-186 (in Korean).
- Park, K.I., K.S. Choi and J.W. Choi, (1999) Epizootiology of *Perkinsus* sp. found in the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in Komsae bay, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, **32**: 303-309 (in Korean).
- Park, K.I. and K.S. Choi, (2001) Spatial distribution of the protozoan parasite *Perkinsus* sp. found in the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in Korea. *Aquaculture*, **203**: 9-22.
- Kyung-II Park and Kwang-Sik Choi (2004) Application of Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA) for studing of reproduction in the Manila clam *Ruditapes philippinarum* (Mollusca: Bivalvia): I. Quantifying eggs. *Aquaculture*, **241**: 667-687
- Park, K.I., H.S. Yang, D.H. Kang and K.S. Choi, (2010) Density dependent growth and mortality of Manila clam, *Ruditapes philippinarum* reared in cages in Gomso-bay, Korea. *Korean J. Malacol.*, **26**: 91-95.
- Robert, R., G. Trut and J.L. Laborde, (1993) Growth, reproduction and gross biochemical composition of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in the Bay of Arachon, France. *Marine biology*. **116**: 291-299.
- Won, M.S. and S.B. Hur, (1993) Fatness index and spat occurrence of the shortnecked clam, *Ruditapes philippinarum*. *Journal of Aquaculture*, **6(3)**: 133-146 (in Korean).
- Yoo, S.K., Y.J. Chung and H.Y. Ryu, (1978) Biological studies on the propagation of important bivalves. 6. morphological characteristics of the short necked clam, *Tapes japonica*. *Bull. Nat'l. Fish. Univ. Busan Nat. Sci.*, **18(1-2)**: 89-94 (in Korean).
- 박광재, 송재희, 한현섭, 오해중, (2010) 서해안 봄철 바지락 폐사현황 및 원인. FSAK 2010, 39pp.
- 유성규, 2000. 천해양식. 구덕인쇄소. 부산, 262pp.
- 해양수산부, 2002. 해양환경공정시험방법. 서울, 330pp.