

서해 연안 황도와 정산포 바지락 양식장의 환경특성

최운석, 송재희, 윤상필, 정상옥, 안경호, 박광재

국립수산과학원 갯벌연구소

The Environmental Characteristics and Factors on the Cultured manila clam (*Ruditapes philippinarum*) at Hwangdo and Jeongsanpo of Taean in the West coast of Korea

Yoon Seok Choi, Jae Hee Song, Sang Pil Yoon, Sang Ok Chung, Kyoung Ho An and Kwang Jae Park

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

ABSTRACT

To assess the effect of environmental factors on the sustainability of cultured production manila clam (*Ruditapes philippinarum*), we investigated the habitat characteristics of tidal flat (Hwangdo and Jeongsanpo in Taean). We measured the physiochemical parameters (temperature, salinity, pH, dissolved oxygen and nutrients) and the characteristics (mean size, chemical oxygen demand, ignition loss, C/N ratio and C/S ratio) of surface sediments. The C/N ratio of Hwangdo and Jeongsanpo were 9.0, 5.3 and the C/S ratio was 0.162, 0.159. The concentration of chlorophyll a at Hwangdo was higher than that of Jeongsanpo and species of micro algae were 102 and 100. The enrichment factor (Ef) and index of accumulation rate (Igeo) of the metals showed that those research areas can be classified as heavily polluted, heavily to moderately polluted, or more or less unpolluted, respectively. So two survey area of cultured clams in the tidal flat have been effected by the various environmental conditions, there are needed an improvement methods and continuous research for increasing the production of manila clam (*Ruditapes philippinarum*).

Key words: Physiochemical parameters, Geochemical characteristics, Cultured production of manila clam, Enrichment factor, Geoaccumulation index

서론

서해 연안 갯벌은 조수간만의 차가 크며 먹이원이 풍부하여 패류 생산에 매우 적합한 환경을 가지고 있다. 그러나 1970년대 이후 서해안에서는 지속적인 매립과 간척사업으로 갯벌 면적이 감소함과 동시에 어장으로 유입되는 민물을 차단함으로 모래 공급이 감소하고 펄이 퇴적되는 환경으로 변화되었다. 바

지락은 갯벌 어장에서 생산되는 패류 중에서 주요 품종으로 생산량이 꾸준히 감소하고 있으며 환경의 변화로 폐사가 발생하여 생산성이 줄어들고 있다. 또한 지역에 따라 해수 수질 및 갯벌 퇴적물의 지화학적 특성은 상이하므로 바지락의 비만도 차이가 발생하여 지역별 생산성의 변동이 크게 차이가 나고 있다. 이러한 갯벌의 환경변화에 따른 생산성을 평가하기 위하여 서해 연안 갯벌어장에서 생산되는 바지락의 서식환경과 서식 밀도에 따른 어장환경 특성을 조사할 필요성이 대두되고 있다. 그러므로 갯벌 어장에서 패류의 폐사 문제가 발생할 수 있는 요인과 연계할 수 있는 환경오염에 대한 모니터링을 지속적으로 진행하여 바지락 등 서식하는 유용패류의 생산성을 향상시킬 수 있는 방안을 모색하여야 한다 (Jeong *et al.*, 2003; Kang *et al.*, 2012).

본 연구의 대상해역인 황도와 정산포 갯벌은 비교적 자연성을 유지하고 있는 만형 갯벌로 충남 태안군에 위치하고 있으며 퇴적지형은 단조로운 니질 및 니사질의 퇴적상과 조위에 따른

Received: June 11, 2014; Revised: June 16, 2014;
Accepted: June 21, 2014

Corresponding author : Park, Kwang Jae
Tel: +82 (63) 472-8604 e-mail: kjparksea@korea.kr
1225-3480/24521

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

군집분포 특성을 가지고 있는 곳이다. 또한 두 지역은 바지락 서식지와 성장에 필요한 환경이 상이하여 생산량과 비만도의 차이가 매우 큰 차이가 있으므로 환경특성에 따른 생산성의 상관관계를 연구할 수 있는 곳이다.

따라서 본 연구는 갯벌어장의 해수 수질 및 지화학적 특성과 관련되는 환경특성을 분석한 기초자료를 확보하여 갯벌 생태계 서식환경 요인의 변화와 관계되는 바지락의 성장과 서식밀도를 조사하였다. 그리고 두 지역의 바지락 생산성 및 분포특성에 대한 상관성을 연구하여 갯벌 어장에서 바지락의 생산성을 높이고 폐사율을 줄이는데 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 시료 채취

2012년 1월부터 11월까지 충남 태안군 황도와 정산포 갯벌어장의 해수, 퇴적물과 패류를 채취하였다 (Fig. 1). 그리고 현장에서 채취한 해수 시료와 퇴적물 및 패류 시료는 즉시 냉장보관함에 담아 실험실로 옮긴 후 해양환경공정시험기준 (국토해양부, 2010)에 따라 분석하였다.

2. 수질 분석

조사해역의 해양화학적 환경은 2012년 1월부터 11월까지 매월 1회씩 수질환경 조사를 실시하였다. 수온, 염분, 수소이온농도 (pH) 및 용존산소 (DO)는 현장에서 수질측정기 (YSI-65, YSI-58)를 사용하여 직접 측정하였고 영양염 분석용 시료는 현장에서 채취하여 실험실로 옮긴 후 자외선/가시광선 분광광도계를 사용하여 비색법으로 측정하였다.

3. 표층퇴적물 분석

퇴적물의 특성을 평가하기 위하여 채취한 퇴적물 시료는 입도, 유기물 함량, 함수율, 화학적산소요구량 및 산취발성황화물을 분석하였다. 퇴적물의 평균입도 (Mean grain size, Mz)는 채취한 시료를 약 20 g 정도 취하여 이온교환수를 이용하여 염분을 제거하였다. 그리고 입자의 확산을 위해 10% 과산화수소 (H₂O₂)와 0.1 N 염산 (HCl)을 넣어 유기물과 탄산염 (CaCO₃)을 완전히 제거한 후 표준체를 이용한 체질방법과 Stokes의 침전속도를 적용한 피펫방법으로 분석하였다. 분석한 결과의 해석은 Folk (1968)와 McBride (1971)의 방법에 따라 처리하였다.

강열감량 (Ignition Loss, IL)은 퇴적물을 담은 도가니의 무게를 측정한 후 전기로에 넣고 550°C에서 4시간 가열한 후 데시케이터 안에서 방냉하였다. 그리고 방냉된 도가니의 무게를 측정한 후 그 무게차이로 값을 계산하였다. 함수율 (Water Content, WC)은 미리 무게를 측정된 도가니에 퇴적물 시료 약 20 g을 담아 건조기에서 110°C로 24시간 가열하였다. 그리

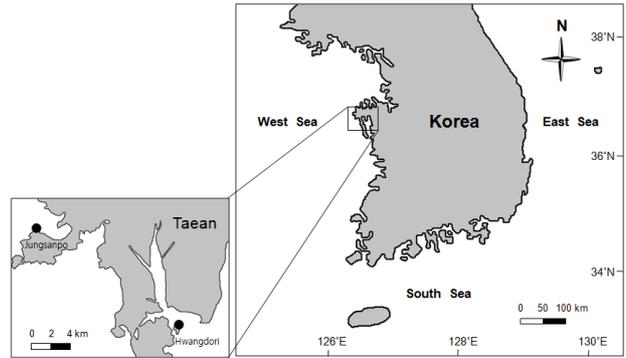


Fig. 1. A map of survey area in the west coast of Korea.

고 데시케이터 안에서 실온으로 냉각 시킨 후 도가니의 무게를 측정하여 계산하였다.

산취발성황화물 (Acid Volatile Sulfide, AVS)은 퇴적물 습시료 약 2-3 g의 무게를 취하여 황화수소 (H₂S) 발생관에 넣은 후 약간의 증류수와 황산 2 mL를 넣고 2-3 초 후에 수동 펌프를 서서히 당겨 이때 발생하는 황화수소가 검지관에 흡수 되도록 하여 분석하였다.

퇴적물의 화학적산소요구량 (Chemical Oxygen Demand, COD)은 먼저 습시료 약 1 g의 무게를 취하여 250 mL 삼각 플라스크에 넣고 0.1 N KMnO₄ 100 mL와 10% NaOH 5 mL를 넣고 잘 흔든 다음, 시료와 시약이 담긴 플라스크를 끓는 물에서 1시간 동안 증탕하였다. 시료를 실온으로 냉각한 후 10% KI 용액 10 mL와 4% Na₂S₂O₃ 용액 한 방울을 넣는다. 그리고 증류수를 가해 500 mL로 만든 후 유리섬유 여과지를 사용하여 여과한다. 여과된 용액 100 mL에 30% H₂SO₄ 2 mL를 넣고 잘 흔든 다음 0.1 N Na₂S₂O₃·H₂O 용액으로 적정하여 분석하였다.

4. 표층퇴적물의 무기원소 및 중금속 분석

표층퇴적물 시료는 산 세척된 플라스틱을 사용하여 표층퇴적물 50 g 정도를 산 세척된 폴리에틸렌 병에 채취하였다. 그리고 시료보관함에 담아 실험실로 옮긴 후 급속 냉동하여 보관하였다.

무기원소 및 중금속 분석을 위하여 채취한 시료는 동결건조기를 이용하여 건조하고 분쇄한 후 X-선 형광분석기 (XRF : Rigaku, Model : Supermini)를 이용하여 정량하였고 중금속의 분석은 동결건조된 퇴적물 시료를 진한 질산 : 과염소산 : 불소산 = 2 : 1 : 2의 혼합된 산 10 mL를 첨가하고 마이크로파 분해장치를 이용하여 기기회사에서 제공한 최적조건으로 산 분해하였다. 그리고 추출된 용액을 산 세척된 100 mL 부피 플라스크 (volumetric flask)에 정용하여 시료로 준비하였다. 그리고 중금속 측정의 정도관리 (QA/QC)는 마이크로파 분해 장치의 산 분해시료에 8개의 시료와 2개의 정도관리 표준물질

MESS-3를 시료와 동일하게 산 분해하여 시료로 준비하여 유도 결합질량분석기 (inductively coupled plasma mass; ICP-MS, Model: Elan 9000, Perkin Elmer Co.) 로 분석하였다.

5. 갯벌 미세조류의 먹이생물 기여도 조사

갯벌 미세조류의 일차 생산력 측정을 위한 시료채집은 2012년 3월부터 10월까지 조사지역 (Fig. 1) 의 세 정점에서 직경 3 cm 주사기 코어를 사용하여 각 조위별로 8개의 주상 시료를 수직 채집하였다. 채집된 시료는 드라이아이스에 보관한 후 실험실로 운반하여 저온 보관하였다. 그리고 식생분포 현황파악을 위한 정규식생지수 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), 식생지수 (Vegetation Index, VI) 는 Spectroradiometer (USB2000, Ocean Optics) 를 사용하여 반사율을 측정하였고 엽록소 추출은 Lorenzen (1967) 의 방법을 사용하였다.

6. 바지락 분포특성 조사

바지락의 분포특성을 파악하기 위하여 서식밀도는 방형구 (50 cm x 50 cm) 를 이용하여 3회 반복 채집하여 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 g 까지 측정하였다. 이것으로부터 육중량비 (Meat weight rate : MWR) 를 다음 식으로 산출하였다.

$$\text{육중량비 (MWR)} = \frac{\text{체조직 습중량}}{\text{패각 건조중량}}$$

결 과

1. 일반 수질 및 영양염류

황도와 정산포 어장에서 조사 정점의 수온, 염분, 용존산소 및 pH 값의 변화는 크게 나타나지 않았다. 그리고 용존산소량과 pH의 변화는 정산포에서 7.23-11.90 mg/L, 황도에서 7.00-12.40 mg/L이었으며, pH는 7.81-8.07로 바지락의 유생 발달에는 별다른 영향을 미치지 않는 범위였다. 또한 조사지역의 영양염류는 아질산성 질소의 변동은 두 곳에서 차이가 적게 나타났지만 암모니아성 질소는 정산포에서 높게 나타났으며 인산염인과 질산성 질소는 강우량이 많았던 7-9월에 높아지는 경향을 보였다 (Fig. 2).

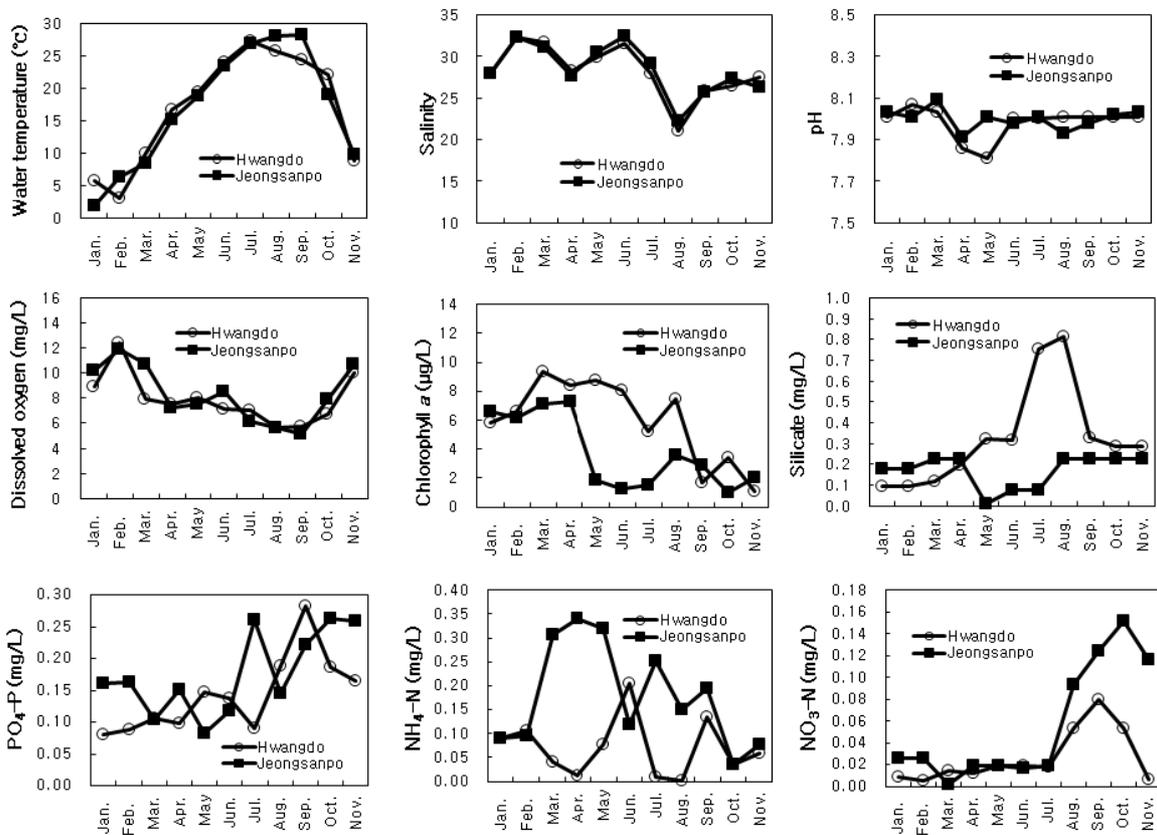


Fig. 2. Monthly changes of the physiochemical parameters in the Hwangdo and Jeongsanpo of seawater.

2. 표층 퇴적물의 유기물 오염도 및 입도조성

1) 입도조성과 지화학적 환경요인

표층 퇴적물의 입도는 계절별 변화는 크게 나타나지 않았으며 2개 지역 모두 니질사로 바지락 양식에 적합한 것으로 나타났다. 평균입도는 황도에서 3.46, 정산포에서 2.64를 보였고 분급도는 황도 1.90, 정산포 2.72로 정산포가 황도에 비하여 조립질이고, 분급이 불량하여 바지락 서식밀도가 높은 것으로 나타났다 (Table 1).

황도와 정산포 어장의 조사지역 표층 퇴적물에서 강열감량 (IL) 과 산취발성화합물 (AVS) 및 함수율 (WC) 은 유사한 양상을 보이며 큰 차이가 나타나지 않았다. 한편 화학적산소요구량 (COD) 은 황도의 세 정점에서 월별 변화가 심하게 나타났으나, 양식장 오염기준 (20.0 mg/g d.w.) 을 초과하지 않았다. 그리고 산취발성화합물은 황도는 4월 (0.11 mg/g d.w.) 과 정산포는 5월 (0.07 mg/g d.w.) 에 연중 제일 높은 값을 보였다 (Fig. 3).

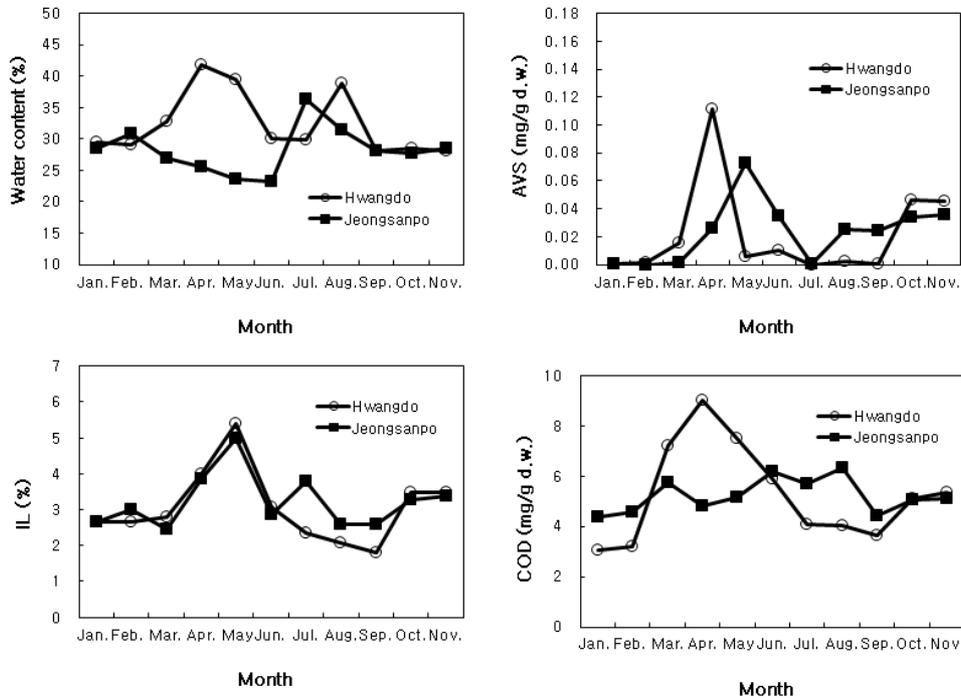


Fig. 3. Geochemical characteristics of surface sediment in the Hwangdo and Jeongsanpo with the monthly changes.

Table 1. Results of mean grain size in the surface sediments

Sample number	Results of Mz								
	Textures(%)				Sediment type (Folk, 1968)	Statistical parameters			
	Gravel	Sand	Silt	Clay		Mean(phi)	Sort(phi)	Skew	Kurt
Hwangdo Feb.	0.92	70.33	19.78	8.97	zS	3.43	1.98	0.39	2.07
Hwangdo May	0.96	70.43	18.98	9.62	cS	4.04	2.41	0.46	1.87
Hwangdo Aug.	1.22	66.26	26.61	5.91	mS	2.87	1.50	0.11	2.28
Hwangdo Nov.	0.36	89.07	8.11	2.46	zS	3.50	1.72	0.34	1.97
Hwangdo Avg	0.87	74.02	18.37	6.74	zS	3.46	1.90	0.33	2.05
Jeongsanpo Feb.	8.63	56.39	27.68	7.29	zS	2.96	2.36	0.29	1.67
Jeongsanpo May	0.28	68.22	22.34	9.17	g(S)	1.54	2.63	0.26	-2.48
Jeongsanpo Aug.	0.54	73.52	20.21	5.74	mS	3.78	2.71	0.13	1.75
Jeongsanpo Nov.	0.78	76.87	16.17	6.18	zS	2.29	3.17	-0.07	1.03
Jeongsanpo Avg	2.56	68.75	21.60	7.10	mS	2.64	2.72	0.15	0.49

Table 2. Results of C/N and C/S ratio in the surface sediments

Location	C/N ratio of organic matter	C/S ratio of organic matter
Hwangdo	9.0	0.162
Jeongsanpo	5.3	0.159

Table 3. Ratio of metallic elements to Al in the surface sediment at Hwang and Jeongsanpo in the west coast of Korea and in earth crust with the Taylor and McLennan

	Metal/Al		Metals/Al x 1000						Metals/Al x 1000	
	Fe/Al	Mn/Al	Zn/Al	Pb/Al	Cu/Al	Cr/Al	Ni/Al	As/Al	Cd/Al	Hg/Al
Earth's crust	0.44	7.46	0.88	0.25	0.31	0.44	0.25	0.02	0.012	0.010
Hwangdo EF*	0.70	1.85	1.75	1.54	2.07	1.81	1.69	3.44	3.52	2.57
Jeongsanpo EF*	0.89	1.23	1.30	1.27	1.19	1.29	1.23	2.31	2.81	1.37

* EF : Enrichment Factor

2) 표층퇴적물의 C/N 비와 C/S 비

갯벌 어장 표층 퇴적물의 유기물 오염에 관한 기원을 조사하기 위하여 C/N 비를 구하였다. 황도와 정산포에서 표층 퇴적물의 C/N 비 연구결과를 보면 황도에서 9.0, 정산포에서 5.3을 나타냈다. 두 지역 모두 10 이하의 값을 보이고 있어 육지의 영향은 적고 해양기원의 유기물의 영향으로 나타나고 있다. 따라서 표층퇴적물 중의 유기물은 육지에서 공급된 것과 현장에서 생성된 유기물이 혼합되어 있음을 지시하고 있다 (Table 2).

또한 저서환경을 평가하기 위해서 유기물중의 C/S 비를 검토하였다 (Table 2). 일반적으로 퇴적물의 환경이 산화적인 해양환경인 경우는 C/S 비가 약 2.8 정도 되는 것으로 보고되어 있다. 따라서 C/S 비를 계산하여 조사지역 표층 퇴적물의 퇴적환경을 평가하였다. 조사한 결과는 두 지역 C/S 비는 황도에서 0.162, 정산포에서 0.159 값으로 모두 2.8 이하를 나타내고 있어 산화된 저층수와 생물교란 (bioturbation) 이 가능한 정상적인 해양환경 (normal marine environment) 이거나 원래 C/S 비가 낮은 것으로 설명할 수 있다 (Hyun *et al.* 2003).

3. 표층 퇴적물의 금속원소 함유량 및 저서환경 오염평가

1) 금속원소의 부화지수와 오염수준

금속원소에 대한 부화지수 (EF) 는 퇴적물 내의 측정된 Al 에 대한 각 금속원소의 농도비 [(Me/Al)observed] 를 지각물질 중 Al에 대한 각 금속원소의 농도비 [(Me/Al)crust] 로 나누어 준 값을 말한다 (Eq.1).

$$\text{Enrichment Factor (EF)} = \frac{(\text{Me/Al})_{\text{observed}}}{(\text{Me/Al})_{\text{crust}}} \quad (1)$$

따라서 황도와 정산포 갯벌의 오염정도를 파악하기 위하여 조사지역에 대한 부화지수 (EF) 값을 위의 식으로 계산하여 Table 3에 나타내었다. 두 지역의 표층퇴적물 중 원소의 평균 부화지수 (EF) 값이 1.0 이상을 나타내어 부화지수 값이 높은 값으로 조사되었다.

2) 금속원소의 농집지수와 오염수준

부화지수와 유사한 방법으로 사용하는 농집지수 (Igeo) 는 Müller (1979) 에 의하여 제시된 것으로 퇴적물에 함유된 금속원소의 농도를 오염되지 않은 금속원소의 농도와 비교하는 방법이다. 이 방법이 퇴적물 내 금속원소의 오염정도의 평가에 보편적으로 이용되고 있으며 이 방법은 다음의 식 (Eq. 2) 을 이용하여 계산한다.

$$I_{\text{geo}} = \log_2 \frac{C_n}{B_n \times 1.5} \quad (2)$$

여기서 Cn은 연구지역 내 분석된 금속원소의 농도이며, Bn 은 금속원소의 바탕농도 (background of reference) 를 나타낸다. 일반적으로 금속원소의 바탕농도는 세일이나 지각물질의 금속원소의 평균농도를 사용한다. 또는 해당연구지역에서 가장 낮은 농도를 사용하여 계산하기도 한다 (Hyun *et al.* 2003, Hwang *et al.* 2006).

위의 식을 이용하여 계산한 농집지수 (Igeo) 값을 Table 4

Table 4. Classification of geoaccumulation index (Müller, 1979) and the number of Igeo class for the concentrations of metallic elements in intertidal surface sediment at Hwangdo and Jeongsanpo in the west coast of Korea

Location	Igeo							
	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Mn	As	Hg
Hwangdo	0.91	0.61	0.74	1.44	0.77	0.79	1.41	1.12
Jeongsanpo	0.50	0.57	0.59	1.36	0.58	0.53	1.16	0.64

에 나타내었다.

4. 갯벌 미세조류의 먹이생물 기여도 조사

1) 조석에 따른 1차 생산력 변화 분석

정산포 해수의 엽록소 a 농도는 해수 표면으로부터 수심 (0.2, 0.4, 0.6, 1.0 m) 에 따라 2월에 평균 0.15-0.67 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 이며, 5월에 0.28-0.97 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 이고 8월에 1.02-3.43 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 를 나타냈으며 수심별 평균값은 1.42, 1.02, 1.35, 0.63 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 으로 나타났다.

정산포 해수의 엽록소 a 농도는 8월의 수심 0.6 m에서 농도가 최대였으며 5월의 수심 1.0 m에서 최소를 보이며 황도

해수의 엽록소 a 농도는 해수 표면으로부터 수심별 (0.2, 0.4, 0.6, 1.0 m) 로 2월에 0.57-4.08 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, 5월에 0.37-0.97 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 이고, 8월에 1.62-2.92 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 를 나타냈으며 깊이별 평균값은 1.82, 2.55, 0.89, 1.15 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 였다 (Fig. 4). 또한 황도 해수의 엽록소 a 농도는 8월에 수심 0.2 m에서 최대였으며 5월에 수심 0.2 m에서 최소였다 (Fig. 5).

정산포 해수의 pheopigments 농도는 해수 표면으로부터 수심 (0.2, 0.4, 0.6, 1.0 m) 에 따라 2월에 0.27-0.94 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, 5월에 0.02-0.62 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 이고 8월에 0.26-2.01 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 로 나타났으며 수심별 평균값은 0.80, 0.47, 0.56, 0.84 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 였다. 그리고 정산포 해수의 pheopigments 농도는 8월에 수심 0.2 m에서 최대였고 5월에 수심 0.2 m에서 최소를 보였다 (Fig. 6).

황도 해수의 pheopigments 농도는 해수 표면으로부터 수심 (0.2, 0.4, 0.6, 1.0 m) 에 따라 2월에 1.71-4.80 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, 5월에 0.16-0.82 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, 8월에 1.34-5.01 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 로 나타났으며 수심별 평균값은 2.15, 2.35, 2.78, 1.60 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 였다. 그리고 황도 해수의 pheopigments 농도는 8월에 수심 0.4 m에서 최대였고 5월에 수심 0.2 m에서 최소였다 (Fig. 7).

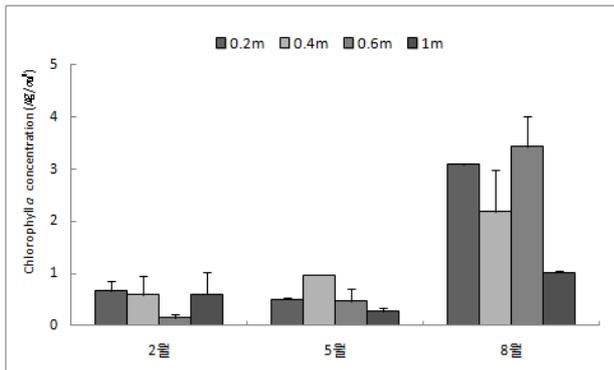


Fig. 4. Concentration of chlorophyll a in seawater of Jeongsanpo.

2) 바지락의 위 내용물 분석

정산포와 황도 갯벌에서 서식하고 있는 바지락의 위속에 남아 있는 내용물을 분석한 결과 황도에서는 2, 5, 8월에 각각 36, 29, 37종이 동정되었고 정산포에서는 2, 5, 8월에 각각

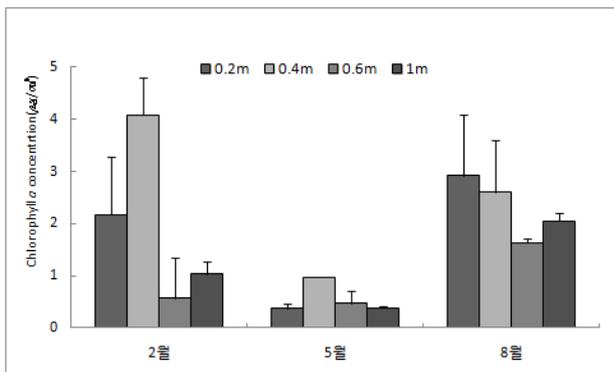


Fig. 5. Concentration of chlorophyll a in seawater of Hwangdo.

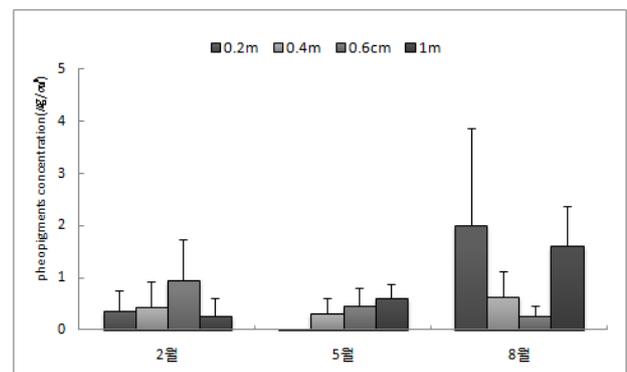


Fig. 6. A pheopigments variation of seawater at Jeongsanpo.

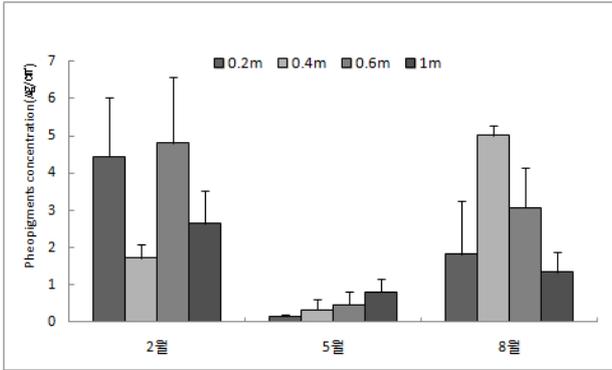


Fig. 7. A pheopigments variation of seawater at Hwangdo

33, 36, 31종이 관찰되었으며, 저서미세조류는 대부분 규조류로 나타났다. 그리고 정산포 바지락 위 내용물에서 *Amphora* sp. 1, *Diploneis* sp., *Navicula* sp., *Paralia sulcata*와 *Thalassionema nitzschioides*가 우점하였다.

또한 황도 바지락의 위 내용물은 정산포와 다른 양상을 보여 2월에 *Detonula pumila* 한 종이 우점하였고 대부분 부유성이었다. 그리고 2월은 부유성이 많았으나 5월과 8월은 저서성 조류들이 많이 출현하였고, 적조생물로 알려진 와편모조류도 발견되었으며 황도 바지락의 위 내용물에서 우점으로 출현한 종은 *Amphora* sp., *Gyrosigma* sp., *Navicula* sp. *Nitzschia* sp.와 *Skeletonema costatum* 으로 나타났다 (Fig. 8).

5. 바지락 분포특성 조사

바지락의 서식밀도는 황도보다 정산포가 높았으며, 서식밀도는 어획, 가입, 폐사에 따라 변화하는 것으로 나타났다. 봄부터 7월까지 어획에 의하여 감소하였으며, 8월부터 종패의 가입으로 증가하였다가 9월에는 폐사로 인하여 일시 감소하는 경향을 보였다 (Park et al., 2013). 그리고 바지락의 비만도는 황도가 정산포보다 연중 높았으며, 서식하고 있는 바지락의 크기는 정산포가 큰 것으로 나타났다 (Fig. 9).

고찰

서해 연안의 태안군의 천수만과 근소만은 전형적인 반폐쇄형만으로 수로, 사퇴, 작은 섬 그리고 갯벌 등 다양한 환경으로 구성되어 있다 (Woo et al., 2005). 그 중에서 천수만의 황도 갯벌과 근소만의 정산포 갯벌은 천해의 바지락 양식장이다. 바지락이 서식하고 있는 조간대는 환경조건의 변화, 특히 수온의 변화가 매우 심한 지역이다. 특히 바지락의 성장과 생존에 영향을 미치는 환경요인 중에서 수온은 대사작용과 활력 및 에너지 수치 등에 직접적인 영향을 미치며 성장, 생존 및 생식특성에 중요한 인자로 작용한다 (Min et al., 2004; Shin and



Fig. 8. Stomach contents of Manila clam (*Ruditapes philippinarum*). 1. *Paralia sulcata*. 2. *Actinocyclus* sp. 3. *Navicula* sp. 4. *Nitzschia* sp. (X400)

Shin, 1999).

본 연구에서 황도와 정산포 양식장에서 황도가 정산포에 비하여 수온은 높지만 크게 차이가 나지 않고 있어 두 지역의 온도에 의한 바지락의 생물지리적 성장에 관한 직접적인 영향을 논할 수는 없었다. 천수만에서 성층화 현상은 여름철 내만 일부 해역에서 일어나고 하층에서 용존산소 포화도가 80% 가량인 것으로 보고되어 있다 (Kim. et al., 2005). 또한 황도와 정산포의 월별 용존산소 농도는 8 mg/L 수준으로 저서생물이 생존하는데 큰 영향을 받지 않는다. 용존무기질소는 7월 이후 8-9월에 강우의 영향으로 증가하였다. 그리고 두 지역의 엽록소 a 농도는 황도에서 3-6월에 부영양화 기준인 7 µg/L 보다 높게 나타났고, 정산포는 전월에서 부영양화 기준보다 낮은 농도를 보였다. 해수 중에 함유되어 있는 유기염류 및 유기물의 함량은 차이가 적고 해수의 엽록소 a 농도 값은 정산포보다 황도에서 높은 농도를 보여주고 있으므로 먹이원 차이에 의한 성장으로 비만도는 두 지역의 두드러진 차이를 보여주고 있다.

천해의 조간대에 서식하는 바지락의 분포는 퇴적물의 입도 조성 (Flint and Holland, 1980), 갯벌 노출시간의 길이 (An and Koh, 1992) 등에 따라 영향을 받는 것으로 보고되어 있으며, 갯벌의 노출시간과 퇴적물의 입도 조성의 차이는 퇴적물의 산소 교환, 퇴적물내 공극수의 pH 안정도와 공극수의 염분 등에 영향을 줌으로써 결과적으로 서식생물의 섭식활동 등 생물의 행동과 생존을 제한하는 것으로 알려져 있다 (Swinbank and Murray, 1981).

또한 바지락 서식지의 환경요인은 주로 퇴적물의 조성에 많은 영향을 받게 되므로 (Han et al., 2012), 본 연구 지역의 표층 퇴적물을 계절별로 조사하였다. 조사결과 평균입도 (Mz) 는 황도의 경우 2.87-4.04 φ 분포이며, 정산포의 평균

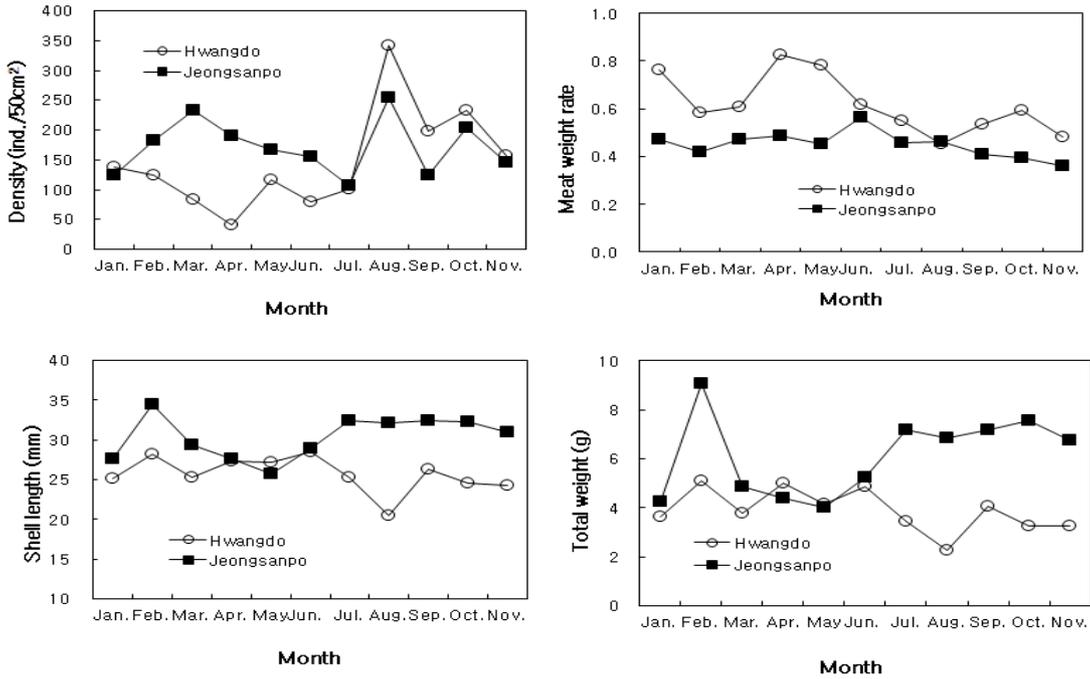


Fig. 9. Monthly changes density, meat weight rate, shell length and total weight of Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) at Hwangdo and Jeongsanpo of Taean.

입도는 1.54-3.78 ϕ 로 황도가 세립인 조직특성을 보인다. 퇴적물의 조성에 있어서도 모래함량이 황도는 66.26-89.07%, 정산포는 56.39-76.87%로 황도가 높았으며 분급도는 황도가 1.72-2.41 ϕ 이며 정산포는 2.36-3.17 ϕ 로 정산포가 분급이 불량하여 정산포에서 바지락의 서식밀도가 높은 것으로 나타났다. 본 연구의 결과와 곰소만 양식장의 퇴적물의 조성특성을 조사한 결과 (Cho *et al.*, 2001a) 를 비교하면, 곰소만 바지락 양식장은 평균입도 4.0-5.0 ϕ , 모래 함량은 평균 49.1%, 니질 함량은 5-10% 그리고 분급도는 1.0-2.0 ϕ 의 범위로 사니질의 퇴적상으로 형성되어 있다. 따라서 평균입도는 곰소만이 높으며, 모래 함량은 황도가 높으며 분급도는 정산포가 가장 높은 값을 나타냈다. 이와 같은 퇴적물의 조성특성에 따라 바지락의 각장, 서식밀도와 비만도에서 많은 차이점을 나타내었다.

갯벌어장 표층퇴적물 유기물 오염 (Kang *et al.*, 1993) 과 저서환경을 평가하기 위해서 C/N, C/S 비를 계산한 결과에 따르면 일반적으로 C/N 비가 10 이상인 것은 대륙기원 유기물이 유입된 것을 나타내고 현장에서 생성된 해양기원의 유기물인 경우는 C/N 비가 5-10 정도의 값을 나타낸다 (Müller, 1979). 따라서 두 조사지역 모두 육지오염원이 적은 상태여서 바지락 양식에 좋은 환경을 가지고 있다. 그리고 C/S 비도 2.8 이하여서 정상적인 해양환경 조건을 만족하므로 저서생물이 서식하고 성장하는데 좋은 퇴적환경이다.

퇴적물 입자와 금속원소 및 유기물 함량은 강한 상관관계를 가지고 있으므로 (Cho *et al.* 2001b; Kim *et al.*, 2005), 표층퇴적물과 저서환경에 대한 오염정도를 평가하기 위해서 (Hyun *et al.*, 2003) 일반적으로 부화지수 Enrichment Factor (EF), 농집지수 Geoaccumulation index (Igeo) 의 방법을 사용한다. 즉 퇴적물 내 금속원소의 농도를 오염되지 않은 지역의 자연상태에 존재하는 금속농도 (Lim *et al.*, 2007) 와 비교하는 방법을 주로 사용한다. 부화지수 (EF) 값이 1 에 가까울수록 오염이 되지 않은 자연적인 농도이며, 1 보다 클 경우는 대기나 하천을 통하여 유입되어 퇴적물에 농축되어 있음을 의미한다. 그러나 황도와 정산포 내로 직접 유입되는 강이나 하천은 없고 산업단지가 형성되어 있지 않으므로 유해물질의 직접적인 유입 가능성은 비교적 적다. 그렇지만 유기물의 축적으로 인하여 유기물 분해가 활발하게 작용하게 되면 Mn/Fe 산화물과 같은 금속산화제가 환원되어 수층에 영향을 미치고, 혐기성 환경이 조성되면 금속황화물 형성과 관련된 금속의 축적현상이 발생할 수 있다 (Song *et al.*, 2011).

또한 농집지수 (Igeo) 는 그 값에 따라 7 등급으로 구분하여 정량할 수 있어 연구지역 내 측정된 금속원소의 상대적인 농축 정도에 대한 오염정도를 세분화할 수 있다. 즉 Igeo class가 0 은 Practically unpolluted, 1은 Practically unpolluted/moderately polluted, 2는 Moderately polluted, 3은 Moderately/strongly polluted, 4는 Strongly

polluted, 5는 Strongly/very strongly polluted 그리고 6은 Very strongly polluted로 세분화 한다. 따라서 연구결과 두 지역에서 대부분 Igeo class가 1에 집중되어 있어 약간 오염되었거나 오염되지 않은 수준으로 (practically unpolluted / moderately polluted) 나타났다.

바지락의 성장에 영향을 주는 또 다른 요인은 먹이공급에 의한 것이다. 잠재적 먹이원인 표층퇴적물 내 유기물 함량과 1차 생산력을 비교해 보면 정산포보다 황도에서 농도가 높고 바지락의 서식밀도는 황도가 낮아서 황도의 바지락 성장이 양호하였다.

바지락 위 내용물 분석 결과 대부분 규조류로 나타났으며, 정산포에서는 *Amphora* sp., *Diploneis* sp., *Navicula* sp., *Paralia sulcata*와 *Thalassionema nitzschioides*가 우점하였으며, 황도에서는 *Amphora* sp., *Gyrosigma* sp., *Navicula* sp., *Nitzschia* sp.와 *Skeletonema costatum*으로 차이를 보였다. Baek et al., (2008) 은 태안 조간대 서식하는 바지락의 먹이특성에 관한 내용으로 *Paralia sulcata*가 항상 우점 출현하고 있다는 것을 보고하였다. 또한 바지락의 전중량과 소화기관의 무게와는 유의한 상관관계를 가지므로 먹이원에 의한 성장 및 육중량비에 영향을 주는 것으로 판단된다 (Park et al., 2010). 본 연구에서 정산포는 황도보다 바지락의 서식밀도가 높아 단위 개체당 섭식 가능량이 낮으므로 육중량비는 황도가 높은 값을 보이고 있다.

요 약

바지락 양식장의 해수 수온은 황도가 정산포에 비하여 높은 것으로 나타났지만 염분은 황도가 낮았으며 용존산소와 pH는 비슷한 값을 나타냈다. 그리고 엽록소 a 와 규산염은 황도가 높았으며 무기질소와 무기인은 비슷한 농도로 나타났다.

퇴적물의 입도는 황도가 세립질이고 분급이 양호하며, 정산포는 조립질이고 분급이 불량하였고, 유기물은 황도에서 높게 나타났다. C/N 비는 황도와 정산포에서 10 이하의 값을 나타내어 외부에 의한 오염보다는 해양기원의 유기물에 의한 것으로 조사되었으며 C/S 비는 두 지역에서 2.8 이하로 정상적인 해양환경으로 조사되었다.

중금속에 대한 농축비 (Ef) 는 두 지역에서 1 보다 크게 나타나 중금속이 유입 또는 금속황화물 형성과 관련된 축적현상으로 퇴적물에 농축되어 있음을 의미한다. 또한 농집지수 (Igeo) 의 결과는 연구지역이 Igeo class가 1에 집중되어 있어 약간 오염되었거나 오염되지 않은 수준 (practically unpolluted / moderately polluted) 으로 나타났다.

조석에 따른 1차 생산력에서 황도가 정산포에 비하여 높게 나타났으며, 황도에서는 2월과 8월에 높고 5월에 낮은 반면 정산포에서는 8월만 높게 나타났다. 생산성 평가를 위하여 채집

한 바지락의 비만도는 황도가 높았지만 크기와 서식밀도는 정산포가 크게 나타났다. 서식밀도의 변화에 대한 조사결과를 보면 7월까지 어획, 8월부터 종패의 가입 그리고 9월에는 폐사 때문인 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 갯벌어장환경모니터링 (14-OE-31) 과제의 일환으로 추진되었습니다.

REFERENCES

- An, S.M. and C.H. Koh (1992) Environments and Distribution Of Benthic Animals on the Mangyung-Dongjin Tidal Flat, West Coast of Korea. *J. Korean Soc. Ocean.*, **27**(1): 78-90.
- Baek, S.H., J.Y. Lee, H.O. Lee and M.S. Han (2008) Study of the Food characteristics on Pacific Oyster *Crassostrea gigas* and Manila Clam *Ruditapes philippinarum* in the intertidal Zone of Taeahn, Korea. *Korean J. Environ. Biol.*, **26**(3): 145-158.
- Cho, T.C., S.B. Lee and S.Y. Kim (2001a) Sedimentology and Hydromechanical Characteristics of Bed Deposits for the Cultivation of *Manila clam*, *Ruditapes philippinarum* in Gomso Tidal Flat. *J. Korean Fish. Soc.*, **34**(3): 245-253.
- Cho, Y.G., S.O. Ryu, Y.K. Khu and J.Y. Kim (2001b) Geochemical composition of surface sediments from the Saemangeum tidal flat, west coast of Korea. 「The Sea」. *J. Korean. Soc. Ocean.*, **6**(1): 27-34.
- Flint, R. W. and Holland, J. S. (1980) Benthic infaunal variability on a transect in the Gulf of Mexico. *Estuar. J. Coast. Mar. Sci.*, **10**(1): 1-14.
- Folk, R. L. (1968) Petrology of Sedimentary Rock, pp. 170. Hemphill Publishing Co., Austin TX, U.S.A.
- Han, J.S., C.W. Ma and J.Y. Kim (2012) Growth Patterns of the Manila Clam, *Ruditapes philippinarum* at Each Tidal Level in the Intertidal Zone in Tae-an, West Coast of South Korea. *Korean J. Malacol.*, **28**(1): 29-35.
- Hwang, D.W., H.G. Jin, S.S. Kim, J.D. Kim, J.S. Park and S.G. Kim (2006) Distribution of organic matters and metallic elements in the surface of Masan harbor, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, **39**(2): 106-117.
- Hyun, S.M., T.H. Lee, J.S. Choi, D.L. Choi and H.J. Woo (2003) Geochemical characteristics and heavy metal pollutions in the surface sediments of Gwangyang and Yeosu bay, south coast of Korea. 「The Sea」. *J. Korean. Soc. Ocean.*, **8**(4): 380-391.
- Jeong, W.G. and S.M. Cho (2003) The physiochemical characteristics of seawater and sediment of marine shellfish farm in Jindong Bay. *Korean J. Malacol.*, **19**(2): 161-169.
- Kang, C.K., P.Y. Lee, J.S. Park and P.J. Kim (1993) On the distribution of organic matter in the nearshore surface sediment of Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*,

- 26(6): 557-566.
- Kang, J.H., S.J. Lee, W.G. Jeong and S.M. Cho (2012) Geochemical characteristics and heavy metal pollutions in the surface sediments of oyster farms in Goseong Bay, Korea. *Korean J. Malacol.*, 28(3): 233-244.
- Kim, D.S., D.I. Lim, S.K. Jeon and H.S. Jung (2005) Chemical Characteristics and Eutrophication in Cheonsu Bay, West Coast of Korea. *Ocean and Polar Research*, 27(1): 45-58.
- Kim, S.K., M.K. Lee, J.H. Ahn, S.W. Kang and S.H. Jeon (2005) The effects of mean grain size and organic matter contents in sediments on the nutrients and heavy metals concentrations. *J. Korean Soc. of Environ. Eng.*, 27(9): 923-931.
- Lim, D.I., J.Y. Choi, H.W. Choi and Y.O. Kim (2007) Natural background level analysis of heavy metal concentration Korean coastal sediments. *Ocean and Polar Research*, 29(4): 379-389.
- Lorenzen C. J. (1967). Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnol Oceanog*, 12: 343-346.
- McBride, E. F. (1971) Mathematical Treatment of Size Distribution Data. In: Procedure in sedimentary Petrology edited by Carver, R. E., 109-127 pp. Wiley-Interscience.
- Min, K.S., S.J. Lee, B.H. Kim and K.Y. Park (2004) Tolerance against Water Temperature and Growth of *Ruditapes philippinarum* Spats in Different Substrate. *Korean J. Malacol.*, 20(2): 121-124.
- Ministry of land, transport and maritime affairs, 2010. Marine environmental test method. 495pp (in Korean).
- Müller G. (1979) Schwenetalle in den sedimenten des Rheins - Verderygen Seit. *Umschau*, 24: 778-783.
- Park, K.J., Y.S. Choi, S. Heo, H.W. Kang, H.S. Han and H.C. O (2010) Report on the sediment type, environmental parameters, density and biometry of Manila Clam *Ruditapes philippinarum* in Gyeonggi Bay off the West coast of Korea. *Korean J. Malacol.*, 26(4): 267-273.
- Park, K. J., J.H. Song, Y.S. Choi and K.H. An (2013) Changes in density and culture conditions of the Manila Clam *Ruditapes philippinarum* on the West coast of Korea. *Korean J. Malacol.*, 29(3): 207-216.
- Shin, H.C. and S.H. Shin (1999) Population Biology of Short-necked Clam (*Ruditapes philippinarum*: Bivalvia) in Kwangyang Bay, Southern Coast of Korea. I. Growth and Benthic Environments. *Korean J. Malacol.*, 15(1): 21-30.
- Song, Y.H., M.S. Choi and Y.W. Ahn (2011) Trace metals in Chun-su Bay sediments. 「The Sea」. *J. Korean. Soc. Ocean.*, 16(4): 169-179.
- Swinbanks, D. D. and Murray, J. W. (1981) Biosedimentological zonation of Boundary Bay tidal flats, Fraser River Delta, British Columbia. *J. Sedimentology*, 28: 201-237.
- Woo, H.J., J.U. Choi, J. H. Ryu, S.H. Choi and S.R. Kim (2005) Sedimentary Environment in the Hwangdo Tidal Flat, Cheonsu Bay. *J. Korean Wetland. Soc.*, 7(2): 53-67.