

서해안 곰소만과 근소만 바지락 양식장의 환경특성

최윤석¹, 전승렬², 최용현², 조윤식³

¹국립수산과학원 서해수산연구소, ²국립수산과학원 서해수산연구소 갯벌연구센터,
³국립수산과학원 해역이용평가센터

The Environmental Characteristics and Factors on the Cultured clam (*Ruditapes philippinarum*) at Gomso and Geunso bay of in the West coast of Korea

Yoon Seok Choi¹, Seung Ryul Jeon², Yong Hyeon Choi² and Yoon sik Cho³

¹West Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Incheon, 22383, Korea

²Tidal Flat Research Center, NIFS, Kunsan 54014, Korea

³Marine Environmental Impact Assessment Center, NIFS, Bunsan 46083, Korea

ABSTRACT

We have studied the systematic monitoring method and construction of tidal flat environment. Surface sediment and sea water samples from the Gomso and Geunso bay of intertidal areas at cultured clams were analyzed for geochemical characteristics and physiochemical parameters. The geochemical characteristics (Chemical Oxygen Demand (COD) ranged from 4 to 8 mg/g-dry wt, Ignition Loss (IL), acid Acid Volatile Sulfide (AVS), Enrichment Factor (Ef), Accumulation Rate (Igeo), C/N ratio and C/S ratio) were measured to estimate the connection of between the contents of inorganic elements in surface sediments of research area. The mean grain size of sediments for research area were different at the ratio of silt and clay. The deposit pore-water of sediments were analyzed the distribution of nutrients at a certain depth profile using the pore-water extraction apparatus. On a wet weight basis, the concentration of Σ Benzo[α]pyrene ranged from 0.02 ng/g to 5.61 ng/g and the concentration of toxicity equivalent factor (TEF) for Σ Benzo[α]pyrene ranged from 0.12 ng/g to 6.51 ng/g. Ef value and Igeo of the metals proved that environmental characteristics can be classified as heavily to moderately polluted. The C/S, C/N ratio were revealed that research area had anoxic or sub-anoxic bottom conditions, respectively. The research areas of cultured clams were effected by the various environmental conditions.

Key words: Environmental parameters, Geochemical characteristics, Manila clam, Ef (Enrichment factor), Geoaccumulation index

서 론

조석의 차이가 큰 서해 연안 갯벌은 패류 생산을 할 수 있는 좋은 입지조건을 갖 추고 있다. 국내 수산업 생산량 면에서 많

은 비중을 차지하고 있는 바지락은 갯벌 어장 패류 중에서 주요 생산되는 주요 품종이다. 1970년 이후 간척사업 등 해양환경의 변화와 갯벌어장의 환경오염 (Choi *et al.*, 2013) 에 의한 영향으로 생산량이 감소하는 추세이며 생산성이 줄어들고 있다. ((Ministry of Oceans and Fisheries (MOF, 2016)

갯벌 퇴적물은 지역별로 지화학적 특성이 상이하므로 바지락의 성장 및 비만도 차이에 따른 생산성의 변동에 많은 차이를 갖고 있다. 따라서 갯벌의 환경변화 평가는 바지락의 서식 환경에 따른 어장환경 특성에 매우 중요한 요소이며, 생산성과 직접적인 상관관계를 유추할 수 있다. 그러므로 지속적이며 유기적인 방안을 수립하여 환경영향에 의한 폐사가 발생하는 갯벌어장의 환경특성을 조사해야 된다. 또한 조사결과를 바지락

Received: March 05, 2019; Revised: March 16, 2019;
Accepted: March 27, 2019

Corresponding author: Yoon sik Cho

Tel: +82 (51) 720-2967, e-mail: cys212@korea.kr
1225-3480/24720

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.

등 이매패류의 생산성을 향상시킬 수 있는 환경영향성과 평가를 할 수 있는 방법을 연구할 필요성이 대두된다 (Jeong and Cho, 2003; Kang *et al.*, 2012).

본 연구의 대상해역인 곰소만과 근소만 갯벌은 최대의 바지락 생산지역이며, 퇴적지형과 조위에 따른 바지락 등 패류의 군집분포 특성을 가지고 있는 곳으로, 두 지역은 바지락 서식에 충분한 갯벌어장환경이 구성되어 있다. 그러나 바지락의 생산량과 비만도에 있어서 두 지역은 매우 큰 차이를 보여주고 있으므로, 언급한 두 지역은 환경특성과 생산성의 상관관계를 지속적으로 연구할 수 있다. 그러므로 갯벌어장의 환경특성에 따른 바지락 생산성 지속적인 모니터링이 필요한 지역이다 (Choi *et al.*, 2014).

곰소만과 근소만에 관한 연구는 곰소만의 바지락 양식장의 성장에 관하여 조사한 (Lim, 2016), 바지락의 섭식특성을 조사하기 위하여 표층해수의 식물플랑크톤 군집 (Kim, 2016), 성장과 사멸에 관한 밀도 의존성 (Park *et al.*, 2010), 곰소만 바지락 포자충의 출현 (Park *et al.*, 1999) 및 근소만 바지락의 생존, 환경의 적합성 연구 (Choi *et al.*, 2016) 등이 있다.

본 연구는 갯벌어장의 해수 수질 및 퇴적물의 지화학적 특성을 분석하여 갯벌 생태계 및 서식환경 요인의 변화에 대한 상관성을 유추하는 토대를 지향하였고 갯벌 어장에서 바지락의 서식환경 요인과 특성에 대한 기초자료로 활용할 수 있다.

재료 및 방법

1. 시료 채취 및 수질 분석

2016년 1월부터 11월까지 곰소만과 근소만에서 갯벌 어장의 해수, 퇴적물과 패류 시료를 채집하였다 (Fig. 1). 채집된 해수, 퇴적물 및 패류 시료를 전처리하여 해양환경공정시험기준 (국토해양부, 2010) 에 의거하여 분석하였다.

곰소만과 근소만 갯벌어장을 조사 지역으로 하여, 갯벌 해수는 해양환경 공정시험기준 (국토해양부, 2010) 방법으로 수온, 염분, pH, DO, SS, COD, Chl-*a*, 및 영양염류 12개 항목을 분석하였다. 해수는 현장에서 수질측정기를 이용하여 수온, 염분, pH, DO를 측정하고, 1개 정점의 해수를 채취하여 SS, COD, Chl-*a*, 영양염류를 분석하였다.

2. 표층퇴적물 분석

갯벌어장 퇴적물의 시험·조사 규모는 분기별 (2, 5, 8, 11월) 로 채집한 시료를 입도, 유기물 함량 (Ignition Loss), 함유수율 (Water Contents), 화학적산소요구량 (COD) 및 산취발성황화물 (AVS) 과 공극수, 중금속, 다환방향족탄화수소

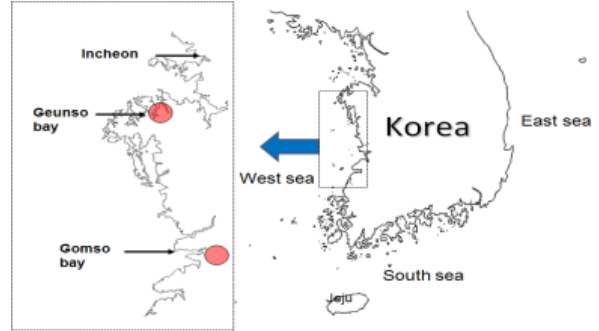


Fig. 1. A map of survey area in the west coast of Korea.

(Polyaromatic hydrocarbons) 를 분석하였다.

퇴적물의 평균입도 (Mean grain size, Mz) 는 채취한 시료를 과산화수소와 염산을 넣어 입자를 확산하여 유기물과 탄산염을 완전히 제거하였다. 그리고 표준체를 이용한 체질방법과 입도분석기를 사용하여 분석한 결과는 (Folk, 1968; McBride, 1971) 방법으로 분류하였다.

산취발성황화물 (Acid Volatile Sulfide, AVS), 강열감량 (Ignition Loss, IL), 화학적산소요구량 (Chemical Oxygen Demand, COD) 은 해양환경 공정시험기준 (국토해양부, 2010) 으로 분석하였다.

3. 표층퇴적물의 무기원소 및 중금속 분석

채집된 시료는 폴리에틸렌 병을 산세척하여 채취한 시료를 옮긴 후 급속 냉동하여 보관하였다.

무기원소 및 중금속 분석을 위하여 채취한 시료는 동결건조기를 사용하여 건조한 후 분쇄하여 X-선 형광분석기 (XRF : Rigaku, Model : Supermini) 를 이용하여 정량하였다. 그리고 중금속의 분석은 동결건조된 퇴적물 시료를 마이크로파 분해장치를 이용하여 기기회사에서 제공한 최적조건으로 산 분해한 후 유도결합질량분석기 (inductively coupled plasma mass; ICP-MS, Model: Elan 9000, Perkin Elmer Co.) 로 분석하였다.

4. 표층퇴적물의 PAHs 분석

시료 채집은 곰소만 갯벌에서 퇴적물과 이매패류 내 Poly Aromatic Hydrocarbons (PAHs) 를 조사하기 위해 시료는 표층 1-10 cm의 퇴적물을 채취하였으며, 생물은 바지락, 동죽 등 이매패류를 퇴적물과 동일 정점에서 채집하였으며, 실험실에서 영하 20℃ 이하의 냉동상태로 보관하였다.

화학분석은 갯벌의 퇴적물과 서식생물의 PAHs의 농도를 확인하기 위해 미국 EPA의 우선 관리대상 오염물질인 16종의 PAHs (Acenaphthene, Acenaphthylene, Anthracene, Benz[a]anthracene, Benzo[b]fluoranthene, Benzo[k]fluoranthene,

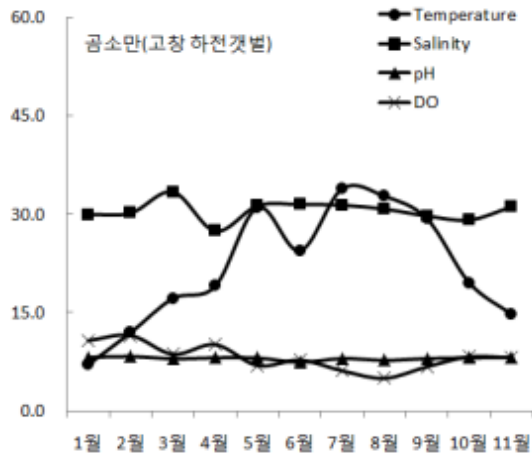


Fig. 2. Monthly changes of the physiochemical parameters.

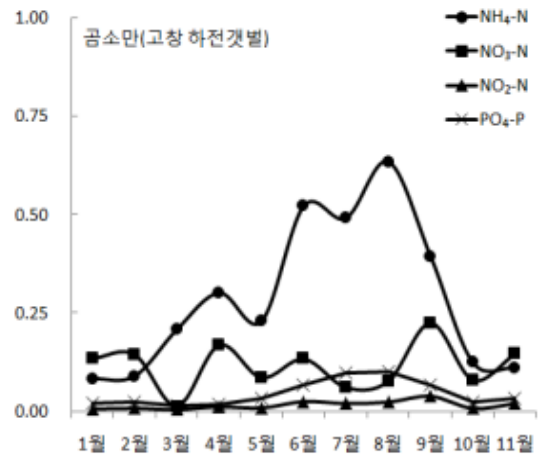


Fig. 3. Monthly changes of the nutrients.

Benzo[ghi]perylene, Benzo(a)pyrene, Chrysene, Dibenz[a,h]anthracene, Fluoranthene, Fluorene, Indeno[1,2,3-cd]pyrene, Naphthalene, Phenanthrene, Pyrene)의 PAHs를 분석하였다.

퇴적물 및 이매패류 시료는 실험실에서 해동시킨 후 균질화하였고, 약 20 g의 습식시료는 막자사발에 담아 450℃에서 활성화시킨 무수황산나트륨 약 50 g을 혼합하여 수분을 제거한 뒤 200 mL의 디클로로메탄으로 16시간 동안 속실텍 추출하였다. 그리고 내부표준물질 (surrogate standards; Naphthalene-d8, Acenaphthene-d10, Phenanthrene-d10, Chrysene-d12, Perylene-d12) 을 첨가하여 회수율을 구하여 농도보정을 실시하였다.

퇴적물 시료의 경우, 추출액을 회전용매농축기로 1-2 mL로 농축한 후 노말헥산 20 mL를 사용하여 용매 치환하였다. 용매 치환된 시료는 고순도 질소가스 (99.999%) 를 이용하여 최종적으로 0.5 mL 까지 농축시킨 후 기체크로마토그래프 내부표준물질 (GC internal standard; Terphenyl-d14) 을 첨가하고 GC-vial에 옮겨 담아 GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectrometer) 을 이용하여 정량정성 분석하였다.

생물시료의 경우, 추출액에서 10 mL를 분취하여 지방함량을 측정하였다. 나머지 추출액은 자동회전용매농축기로 1-2 mL로 농축한 후 실리카/알루미나 칼럼을 이용하여 정제하였다. 용매 치환된 시료는 고순도 질소가스를 이용하여 최종 0.5 mL 까지 농축시킨 후 기체크로마토그래프 내부표준물질 (GC internal standard; Terphenyl-d14) 을 첨가하고 GC-vial에 옮겨 GC/MS를 이용하여 정량정성 분석하였다.

결 과

1. 수질 및 영양염류

조간대의 해수를 채취하여 수온, 염분, pH, DO는 YSI-556을 사용하여 현장에서 측정하였으며, 조사결과 곰소만과 근소만 갯벌 어장에서 수온, 염분, 용존산소 및 pH 값의 차이가 적었다. 그리고 용존산소량은 곰소만에서 4.43-12.35 mg/L, 근소만 파도리에서 4.11-13.23 mg/L 그리고 법산리에서 5.96-12.81 mg/L 이었으며, pH는 7.5-8.1로 바지락의 유생발달에 영향이 적은 범위였다 (Fig. 2, 4, 6).

영양염류 조사결과에서 암모니아성 질소는 곰소만에서 6월에서 9월에 변동성이 크고 근소만은 파도리와 법산리 모두 5월에서 8월에 높은 값을 보였다. 그리고 아질산성 질소, 인산염 인과 질산성 질소는 일반적으로 변동성이 작은 경향을 보였다 (Fig. 3, 5, 7).

2. 표층 퇴적물의 입도조성 및 환경오염

1) 입도조성과 지화학적 환경요인

표층 퇴적물은 갯벌어장 조사정점에서 표층 2 cm이내로 채취하였으며, 입도, 화학적산소요구량, 산취발성황화물, 강열감량은 해양환경공정시험기준 (2010, 국토해양부) 에 따라 분석하였다. 곰소만 갯벌의 계절별 퇴적물 COD 값의 변화 양상은 1.41-9.84 mg/g-dry wt. (이하 mg/g, 평균 3.69 mg/g) 으로, 특히 8월에 9.84 mg/g으로 가장 높은 농도를 보였다 (Fig. 8). 바지락 성장과 폐사에 영향을 미치는 계절별 퇴적물의 산취발성황화물 값은 조사지역에서 전체적으로 0.001-0.041 mg/g (평균 0.009 mg/g) 수준이었으며 하천리 갯벌에서 정점별 차이를 보였다 (Fig. 9).

근소만 파도리와 법산리 갯벌의 실험구와 대조구의 변화양상은 Fig. 10과 11에 월별 퇴적물의 COD 값은 0.28-10.35 mg/g (평균 3.74 mg/g) 으로 8월에 법산에서, 산취발성황화

서해안 곰소만과 근소만 바지락 양식장의 환경특성

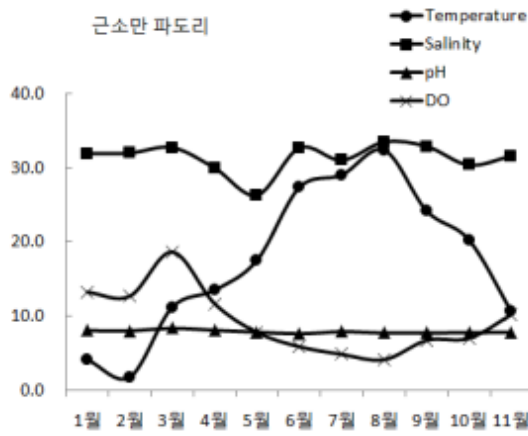


Fig. 4. Monthly changes of the physiochemical parameters.

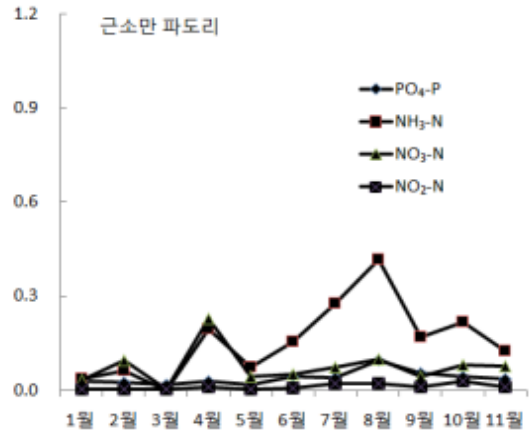


Fig. 5. Monthly changes of the nutrients.

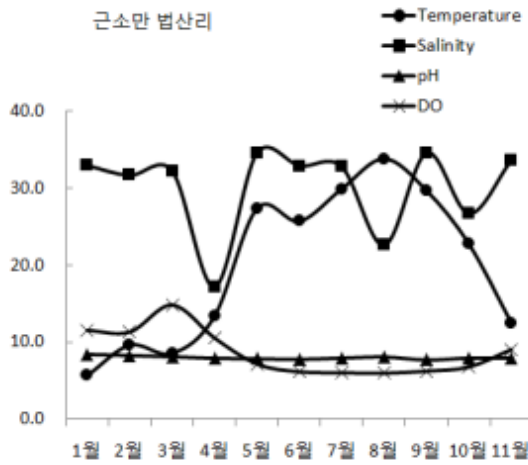


Fig. 6. Monthly changes of the physiochemical parameters.

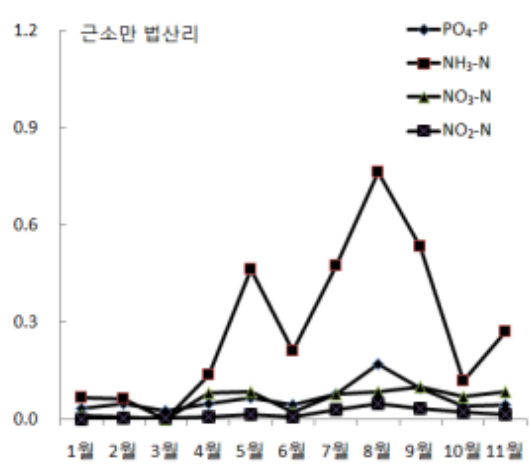


Fig. 7. Monthly changes of the nutrients.

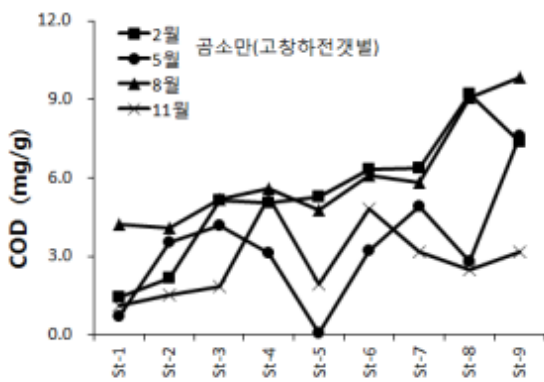


Fig. 8. Seasonal changes of COD.

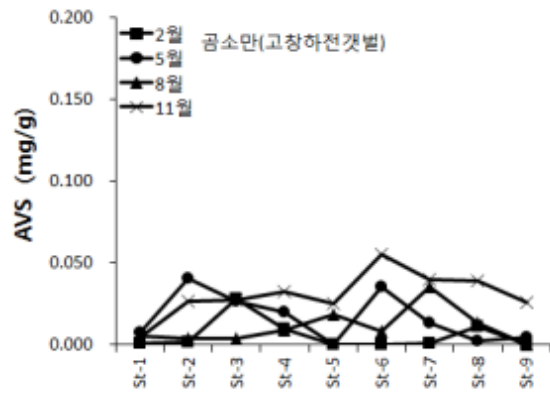


Fig. 9. Seasonal changes of AVS.

물 값은 0.00-0.090 mg/g (평균 0.019 mg/g) 으로 2월에 파도리에서 높게 나타났다.

갯벌어장 퇴적물의 지온측정을 위하여 곰소만 2개, 근소만

2개 지점의 표층 깊이에 온도측정기기를 삽입하여 매일 일정 시간 온도를 측정하였다. 노출시간에 영향을 받는 바지락의 성장과 비만도는 조간대의 일조시간과 풍향에 영향을 받는 것으

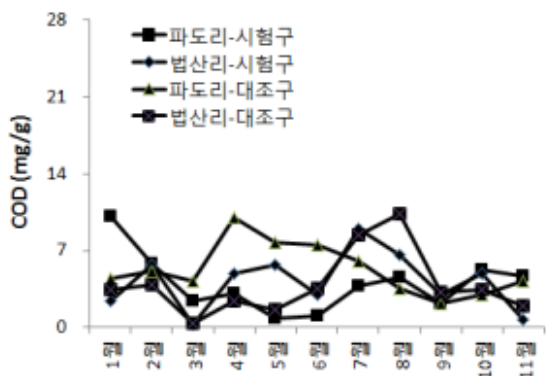


Fig. 10. Monthly changes of COD.

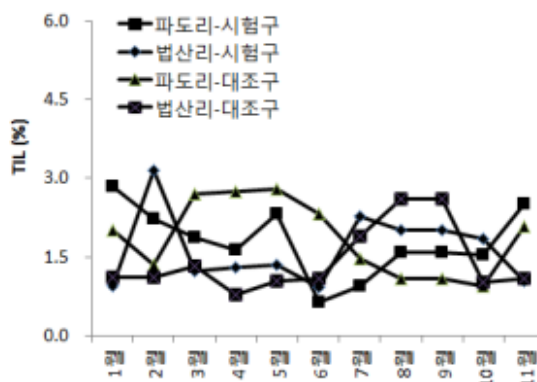


Fig. 11. Monthly changes of COD.

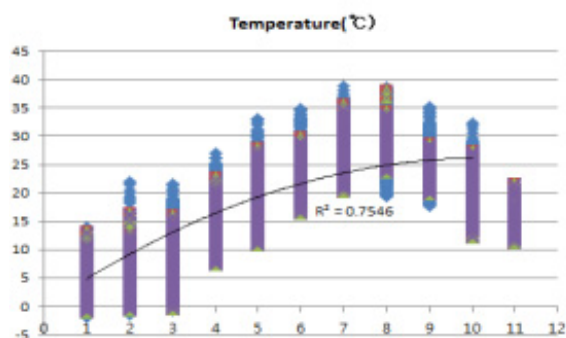


Fig. 12. Temperature of surface sediment at the Gomsobay.

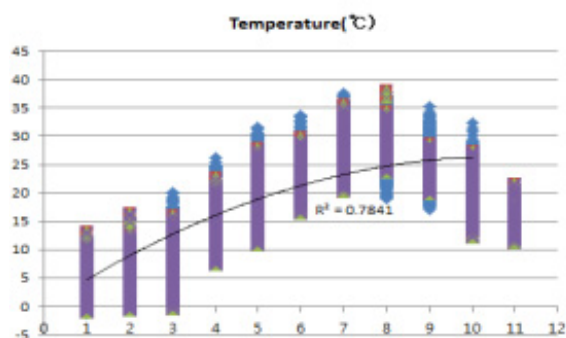


Fig. 13. Temperature of surface sediment at the Gomsobay.

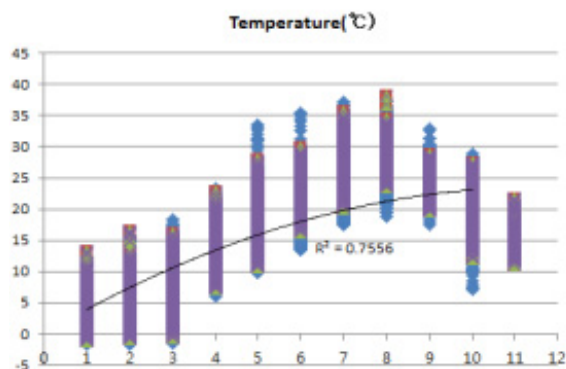


Fig. 14. Temperature of surface sediment at the Geunso bay.

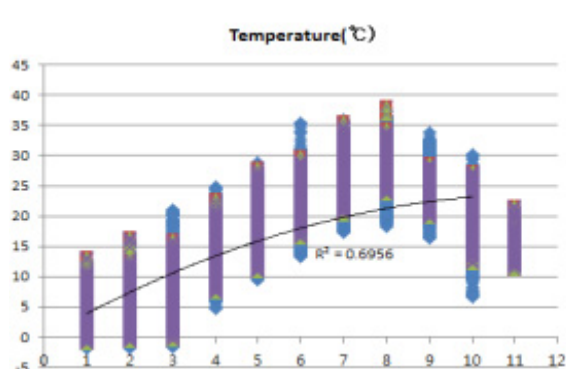


Fig. 15. Temperature of surface sediment at the Geunso bay.

로 생각 된다 (Choi *et al.*, 2014). 두 지역에서 지온의 변화는 적은 편차를 나타내고 있으며 바지락 성장에 좋은 조건으로 생각된다 (Fig. 12-15).

갯벌어장 퇴적물의 공극수는 자체제작한 공극수 추출장치를 일정기간 갯벌어장 퇴적물에 삽입하여 공극수를 추출한 후 영

양염을 분석하였다 (곰소만 1개 지점, 근소만 2개 지점). 곰소만 및 근소만 공극수 내 영양염 분포 (용존무기질소 (DIN), 규산성규소 (SiO₂-Si), 인산염인 (PO₄-P)) 는 표층에서 낮은 값을 보이다가 퇴적층이 깊어질수록 점차 증가하였다. 특히 DIN의 농도 증가 경향이 뚜렷하게 나타났으며, 곰소만 갯벌 (36

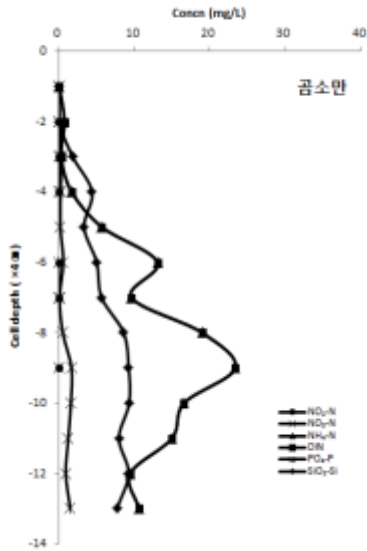


Fig. 16. Pore water nutrient of surface sediment at the Gomso bay.

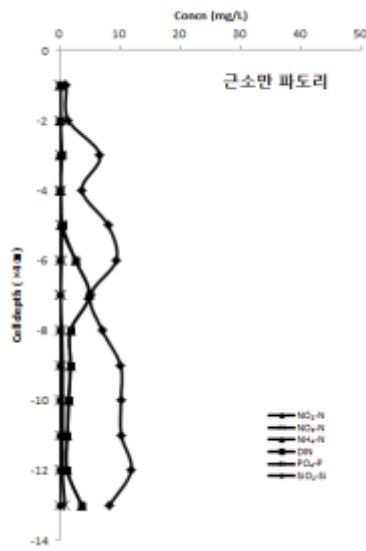


Fig. 17. Pore water nutrient of surface sediment at the Geunso bay.

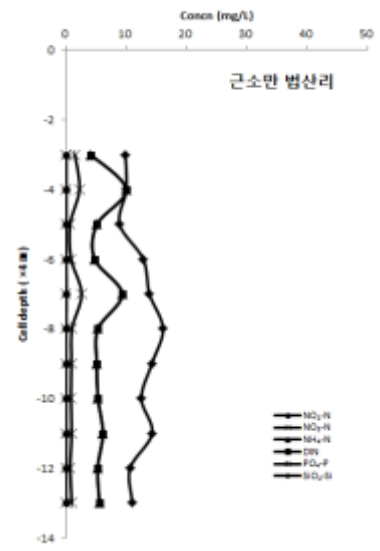


Fig. 18. Pore water nutrient of surface sediment at the Geunso bay.

cm) 깊이에서 최대값을 보였고, DIN 중 암모니아성질소 (NH₄-N) 가 가장 많은 비중 (99% 이상) 을 차지하였다. 따라서 암모니아성질소의 농도 증가는 바지락 양식장의 폐사가 발생할 수 있는 중요한 원인이 될 수 있기에 지속적인 조사가 필요하다 (Fig. 16-18) (Cho *et al.*, 2001).

바지락의 증묘발생과 성장에 영향을 미치는 표층 퇴적물의 입도 조사결과를 (Fork, 1968; McBride, 1971) 의 방법으로 분류하였다. 조사결과 곰소만 조사지역은 대부분 니질로 구성되어 있었다. 또한 평균입도는 정점 1에서 9까지 4.8-5.9 사이의 분포를 나타냈으며, 분급도는 1.4-2.2로 분급이 불량한 상

태로 나타났다 (Table 1).

근소만 조사지역의 퇴적물의 입도 조사결과를 보면 대부분 사니질로 구성되어 있으며 평균입도는 파도리와 범산리에서 3.4-5.6 사이 값을 나타내었고 분급도는 2.0-2.7로 분급이 매우 불량한 상태로 나타났다 (Table 2).

조사지역 퇴적물의 무기원소는 퇴적물 시료를 동결건조하여 X-ray 형광분광분석기 (Super mini, Rigaku) 로 측정하였고 중금속은 ICP-MS를 사용하여 분석하였다 (Table 3).

조사지역의 퇴적물 및 바지락의 무기원소 함유량은 두 지역에서 비슷한 원소 함유량을 나타내었으며 (Table 4) 서해안

Table 1. The mean grain size(Mz) of surface sediments in the surveying sites

St.	Textures (%)				Sediment type (Folk, 1968)	Statistical parameters			
	Gravel	Sand	Silt	Clay		Mean (ϕ)	Sort (ϕ)	Skew	Kurt
St. 1	0.5	4.8	91.0	3.8	(g)M	5.2	1.4	0.3	9.4
St. 2	0.0	6.2	84.0	9.8	Z	5.6	1.7	1.6	5.4
St. 3	0.0	4.7	86.2	9.1	Z	5.6	1.6	1.6	5.4
St. 4	0.0	7.3	82.0	10.8	Z	5.6	1.6	1.2	4.2
St. 5	0.3	41.7	46.6	11.4	(g)M	4.8	2.2	0.6	3.0
St. 6	0.0	21.5	63.4	15.1	sZ	5.6	2.2	0.6	2.8
St. 7	0.1	10.2	80.7	9.0	(g)M	5.5	1.6	1.1	4.8
St. 8	0.5	15.9	76.7	7.0	(g)M	5.2	1.6	0.6	5.8
St. 9	0.1	7.6	77.1	15.2	(g)M	5.9	1.9	1.0	3.4

Table 2. The mean grain size(Mz) of surface sediments in the surveying sites

St.	Textures(%)				Sediment type (Folk, 1968)	Statistical parameters			
	Gravel	Sand	Silt	Clay		Mean(ϕ)	Sort(ϕ)	Skew	Kurt
PD-T	2.6	67.3	14.8	15.3	(g)mS	4.3	2.7	0.4	2.6
PD-C	4.2	78.0	8.5	9.3	(g)mS	3.4	2.5	0.9	4.0
BS-T	0.0	45.2	45.2	9.6	sZ	4.9	2.0	0.7	2.8
BS-C	0.5	36.5	42.7	20.2	(g)M	5.6	2.6	0.0	2.3

Table 3. The content of inorganic elements of surface sediments

St.	Inorganic elements concentration (mass %)									
	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti
Gomso bay	0.002	0.0085	1.83	66.4	0.0307	0.0009	28	0.25	3.45	0.0019
Geunso bay Padori	0.0008	0.0054	1.65	46.9	0.0494	0.001	46.5	0.312	4.55	0.0019
Geunso bay Beopsan	0.0011	0.0072	2.17	53.7	0.0345	0.0009	38.9	0.264	4.95	0.0022

Table 4. The content of heavy metals of surface sediments and *Ruditapes pillipinarum*.

St.	Heavy metals of surface sediments (mg/kg d.w.)									
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn	T-Hg
St.1	5.49	0.04	6.17	44.95	6.06	16546	503.06	21.55	74.45	0.004
St.2	5.82	0.03	6.12	36.27	4.73	16031	308.95	23.78	54.98	0.004
St.3	5.22	0.03	5.99	37.21	4.83	15921	313.65	22.38	55.53	0.004
St.4	5.48	0.02	7.12	43.34	6.60	20585	460.29	22.39	63.00	0.006
St.5	5.48	0.03	5.97	35.97	4.91	16004	306.87	22.84	53.41	0.004
St.6	5.40	0.04	6.22	40.09	5.62	16225	323.78	22.58	57.20	0.004
St.7	6.00	0.02	6.60	37.32	5.05	18309	321.32	23.21	56.70	0.004
St.8	5.89	0.03	6.86	40.89	5.82	20603	336.61	24.89	58.70	0.005
St.9	5.54	0.02	6.47	41.99	5.98	16715	420.36	23.29	60.37	0.006
Heavy metals of <i>Ruditapes pillipinarum</i> (mg/kg w.w.)										
Padori-T	1.44	0.09	0.22	0.20	0.89	48.32	1.40	0.08	8.71	0.084
Padori-C	1.18	0.08	0.19	0.13	0.84	14.52	0.80	0.06	8.92	0.070
Beopsan-C	1.20	0.08	0.22	0.22	0.75	54.28	1.54	0.08	7.61	0.130
St.2	1.00	0.05	0.19	0.94	0.79	178.97	36.87	0.19	5.41	0.660
St.3	0.95	0.05	0.22	0.58	0.66	120.47	21.34	0.16	4.89	0.062
St.4	2.27	0.08	0.20	1.15	0.74	82.03	4.19	0.10	7.61	0.050
St.5	2.54	0.07	0.19	0.74	0.76	53.25	2.58	0.08	7.49	0.051
St.6	0.85	0.04	0.23	1.48	0.54	231.10	16.84	0.23	5.40	0.042
St.7	0.87	0.03	0.24	1.83	0.57	205.91	21.60	0.22	5.28	0.042
St.8	3.16	0.09	0.21	0.40	0.62	32.67	1.01	0.05	6.33	0.082
St.9	2.09	0.06	0.19	0.61	0.81	69.79	3.40	0.08	7.43	0.050

Table 5. 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
Gomso bay	9.0	1.1
Geunso bay	5.3	2.0

Table 6. Ratio of metallic elements to Al in the surface sediment at Gomso bay and Geunso bay 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
Gomso bay EF*	0.70	1.85	1.75	1.54	2.07	1.81	1.69	3.44	3.52	2.57
Geunso bay EF*	0.89	1.23	1.30	1.27	1.19	1.29	1.23	2.31	2.81	1.37

* EF : Enrichment Factor

Table 7. Classification of geoaccumulation index (Müller, 1979) and the number of Igeo class for the concentrations of metallic elements in intertidal surface sediment Gomso bay and Geunso bay at in the west coast of Korea.

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

지역의 일반적인 농도와 유사성을 보였다 (Choi *et al.*, 2014).

2) 표층퇴적물의 C/N 비와 C/S 비

표층 퇴적물의 유기물 오염과 저서환경은 갯벌에 서식하는 생물의 중요한 환경조건으로 C/N 비와 C/S 비율을 계산하여 검토할 수 있다 (Hwang *et al.*, 2006; Hwang and Kim, 2014). 두 지역의 표층 퇴적물의 C/N 비율의 결과를 보면 곰소만은 3.2, 근소만은 1.0을 나타냈다. 이러한 결과는 해양기원의 유기물이 영향으로 육지의 영향은 적은 것으로 해석되며, 표층퇴적물 중의 유기물은 육지기원과 해양에서 생성된 물질이 혼합되어 있는 것으로 추정된다. (Table 7). 그리고 C/S 비율은 곰소만은 1.1, 근소만은 2.0 값으로 해양환경에서 퇴적물의 환경이 C/S 비가 약 2.8 정도 (Hyun *et al.*, 2003) 인 산화적인 경우는 보다 낮은 값을 나타내고 있다. 따라서 두 지역은 산화된 저층수의 영향을 받으며 생물교란이 가능한 해양환경이거나 C/S 비가 낮은 지역으로 설명할 수 있다.

3) 표층 퇴적물의 금속원소 함유량 및 저서환경 오염평가

퇴적물의 오염수준은 금속원소의 부화지수를 이용하여 평가

할 수 있다 (Hwang *et al.*, 2006). 부화지수 (EF) 는 다음식을 사용하여 계산한다. (식.1).

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

조사지역의 표층퇴적물 중 원소의 평균 부화지수 (EF) 값이 1.19-3.52 범위로 1.0이상 값으로 조사되었다 (Table 6).

4) 금속원소의 농집지수와 오염수준

Müller (1979) 가 제시한 방법인 부화지수와 농집지수는 다음의 식 (2)을 이용하여 계산한다.

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

여기서 C_n 은 연구지역 내 분석된 금속원소의 농도이며, B_n 은 금속원소의 바탕농도 (background of reference) 를 나타낸다 (Taylor and McLennan 1995). 일반적으로 금속원소의 바탕농도는 지각물질의 금속원소의 평균농도 또는 세일의 농

Table 8. 곰소만 갯벌 퇴적물에서의 각 화합물 평균 농도 (ng/g-d.w.)

Σ16PAHs (ng/g dry wt.)	6.0
Σcarcinogenic PAH (ng/g dry wt.)	1.2
Lower molecular weight (LMW) PAHs	1.4
Higher molecular weight (HMW) PAHs	4.8
LMW/HMW	0.5
Phenanthrene/Anthracene	6.1
Fluoranthene/Pyrene	0.9
Anthracene / (Phenanthrene + Anthracene)	0.3
Fluoranthene / (Fluoranthene + Pyrene)	0.6
Benz[a]pyrene / (Benz[a]pyrene + Chrysene)	0.2
Indeno(1,2,3-cd)pyrene / (IcdP + Benzo[ghi]perylene)	0.4

Table 9. 곰소만 갯벌 생물 PAHs 농도 (ng/g lipid weight)

조사정점	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9
February	-	4.33	6.21	4.24	3.54	4.05	9.02	9.38	6.35
생물종	-	동죽	가무락	가무락	가무락	바지락	바지락	바지락	바지락
August	-	4.18	2.94	3.23	2.19	5.18	3.75	4.12	3.96
생물종	-	가무락	가무락	가무락	가무락	가무락	가무락	바지락	바지락

도를 사용한다. 또는 해당연구지역에서 가장 낮은 농도를 사용하여 계산하기도 한다 (Hyun *et al.* 2003, Hwang and Kim. 2011). 농집지수 (Igeo) 는 0.53-1.44의 값으로 Table 7에 나타내었다.

5) 유해물질 잔류도 및 서식생물 오염평가

조사지역 갯벌어장 퇴적물 중 PAHs의 농도를 분석하여 갯벌 어장 퇴적물과 생태계의 유해물질 잔류도 및 분포특성을 조사하였다. PAHs 중에서 총 16종의 평균은 6.0 (ng/g-dry wt.)으로 나타났으며 발암성이 있는 PAHs (Σcarcinogenic PAH) 는 1.2 (ng/g-dry wt.) 값으로 낮은 수준이었다 (Table 8).

곰소만 갯벌에서의 PAHs 농도를 다른 지역과 비교하였을 때, 총 9개의 정점 지역에서 농도는 뚜렷한 공간적 경향성을 보이지 않았고, 본 조사지역은 타 지역에 비해 매우 낮은 수준의 PAHs 농도분포를 나타내었다. 그리고 생물에서 PAHs 농도는 정점에 따른 특징은 나타나지 않았다 (Table 9).

고 찰

곰소만과 근소만은 서해연안의 반폐쇄적 만으로 작은 섬 및 수로 그리고 갯벌 등 다양한 환경으로 구성되어 있다 (Woo *et*

al., 2005). 두 지역의 갯벌어장은 천혜의 바지락 양식장으로 바지락이 서식하고 있는 조건대는 환경조건의 변화, 특히 수온의 변화가 매우 심한 지역이다 (Lim, 2016). 특히 바지락의 성장과 생존에 영향을 미치는 환경요인으로 수온은 (Min *et al.*, 2004; Shin and Shin, 1999) 성장과 생존에 중요하다. 따라서 본 연구에서 곰소만과 근소만의 수온과 지온은 크게 차이가 나지 않고 조수간만에 의한 편차정도 이므로 두 지역의 온도에 의한 바지락의 성장에 관한 직접적인 영향은 적은 것으로 생각된다.

공극수 측정결과 용존무기질소의 농도는 저서생물이 생존하는데 큰 영향을 받지 않는 범위이며 두 지역에서 유사한 농도를 나타내었다. 해수 중에 함유되어 있는 유기염류 및 유기물의 함량은 차이가 적으며, 두 지역에서 바지락 성장은 적은차이를 보여주고 있다 (Park *et al.*, 2010; Park *et al.*, 2014).

천혜의 조건대에 서식하는 바지락의 분포는 퇴적물의 입도 조성 (Flint and Holland, 1980), 갯벌 노출시간의 길이 (An and Koh, 1992) 등에 따라 영향을 받는 것으로 보고되어 있다. 그리고 갯벌의 노출시간과 퇴적물의 입도 조성의 차이는 퇴적물의 산소 교환, 공극수의 염분 및 pH 안정도 등에 영향을 줌으로써 결과적으로 서식생물의 섭식활동 등 생물의 행동과 생존을 제한하는 것으로 알려져 있다 (Swinbank and

Murray, 1981).

또한 바지락 서식지의 환경요인은 주로 퇴적물의 입도조성에 의하여 영향을 받게 되므로 (Han *et al.*, 2012), 표층 퇴적물과 바지락의 성장과의 관계를 계절별로 조사하였다. 조사결과 평균입도 (Mz) 는 곰소만의 경우 4.8-5.9 ϕ 분포이며, 근소만의 평균입도는 3.4-5.6 ϕ 로 곰소만이 세립인 조직특성을 보인다. 퇴적물의 조성에 있어서도 모래함량이 곰소만은 4.8-41.7 %로 넓은 갯벌어장에서 분포되어 있고, 모래함량의 분포 및 변화에 따라서 이매패류의 서식지가 다양하게 분포하고 있다. 한편 근소만은 모래함량이 36.5-78.0 %로 바지락의 서식밀도가 높은 것으로 나타났으며, 분급도는 곰소만이 1.4-2.2 ϕ 이며 근소만은 2.0-2.7 ϕ 로 근소만이 분급이 높게 나타났다.

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. 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 매우 높은 상관관계를 가지고 있으므로 (Cho *et al.* 2001; 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 곰소만과 근소만 내로 직접 유입되어 영향을 미치는 강이나 하천은 없고 산업단지가 형성된 지역이 아니어서 유해물질의 직접적인 유입 가능성은 비교적 적다. 그러나 유기물의 축적으로 인하여 유기물 분해가 활발하게 작용하게 되면 공극수 수층에 영향을 미치고, 혐기성 환경이 조성되어서 금속황화물 형성과 관련된 금속의 축적현상으로 바지락 성장에 저해되는 요인이 발생할 수 있다 (Song *et al.*, 2011).

요 약

곰소만과 근소만 갯벌 어장에서 조사 정점의 수온, 염분, 용존 산소 및 pH는 바지락의 유생발달에는 별다른 영향을 미치지 않

는 범위 내에 있었으며, 바지락 양식장의 해수 수온, 염분, pH와 용존산소는 곰소만과 근소만에서 유사한 양상을 나타냈다.

퇴적물 COD는 곰소만이 평균 1.41-9.84 mg/g-dry wt., 근소만이 평균 0.28-10.35 mg/g-dry wt.로 유사했지만 유기물 오염 농도 수준 이하였다.

그리고 퇴적물 지온의 변화양상은 두 지역에서 유사한 온도 분포를 나타내었으며 갯벌어장 퇴적물의 공극수 영양염 분포 (DIN, SiO₂-Si, PO₄-P) 는 표층에서 낮은 값을 보이다가 퇴적층이 깊어질수록 점차 증가하였다.

표층 퇴적물의 입도는 사니질로, 분급이 매우 불량한 상태이며 퇴적물의 입도는 곰소만이 세립질이고 분급이 양호하며, 근소만은 조립질이고 분급이 불량하며 퇴적물 무기원소 함유량은 두 지역이 비슷한 원소 함유량을 나타내었다.

C/N 비는 곰소만과 근소만에서 10 이하의 값을 나타내어 외부에 의한 오염보다는 해양에서 기원되는 유기물에 의한 것으로 조사되었으며 C/S 비는 두 지역에서 2.8 이하로 정상적인 해양환경으로 조사되었다.

퇴적물의 미량금속 농도는 고시된 기준 (해양수산부, 2013) 보다 낮은 수준이며, 중금속에 대한 농축비 (Ef) 는 두 지역에서 1 보다 크게 나타나 유기물 분해에 의한 중금속유입 또는 금속 황화물 형성과 관련된 축적현상으로 퇴적물에 농축되어 있음을 의미한다.

농집지수 (Igeo) 의 결과는 Igeo class의 값이 1 수준으로 약간 오염되었거나 오염되지 않은 수준 (practically unpolluted / moderately polluted) 으로 나타났다.

표층 퇴적물과 생물에서 PAHs농도는 다른 지역에 비하여 매우 낮은 수준이었다.

사 사

본 연구는 2019년도 국립수산물학원 수산시험연구사업 (R2019025) 의 지원으로 수행된 연구임.

REFERENCES

- An, S.M. and Koh, C.H. (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.
- Cho, T.C., Lee, S.B. and Kim, S.Y. (2001) 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., Ryu, S.O., Khu, Y.K. and Kim, J.Y. (2001) Geochemical composition of surface sediments from the Saemangeum tidal flat, west coast of Korea.

- 「The Sea」. *J. Korean. Soc. Ocean.*, **6**(1): 27-34.
- Choi, Y.H., Cho, Y.S., Kim, Y.T., Jeon, S.R., and Choi, Y.S. (2016) A study on the Habitat Suitability Considering Survival, Growth, Environment for *Ruditapes philippinarum* at Geunso Bay (Pado and Beopsan). *Journal of Korean Society of Marine Environment & Safety*, **22**(6): 723-730.
- Choi, Y.S., Park, K.J., Yoon, S.P., Chung, S.O., An, K.H. and Song, J.H. (2013) Geochemical Characteristics and Environmental Factors on the Marine Shellfish Farm in Namhae-po Tidal Flat of Taean. *Korean Journal of Malacology*, **29**(1): 51-63.
- Choi, Y.S., Song, J.H., Yoon, S.P., Chung, S.O., An, K.H. and Park, K.J. (2014) The environmental characteristics and factors in the cultured manila clam (*Ruditapes philippinarum*) at Hwangdo and Jeongsanpo of Taean in the west coast of Korea. *Korean Journal of Malacology*, **30**(2): 117-126.
- 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.
- Fork, R. L. (1968) Petrology of Sedimentary Rock, pp. 170. Hemphill Publishing Co., Austin TX, U.S.A.
- Han, J.S., Ma, C.W. and Kim, J.Y. (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. and Kim, S.G. (2011) Evaluation of Heavy Metal Contamination in Intertidal Surface Sediments of Coastal Islands in the Western Part of Jeollanam Province Using Geochemical Assessment Techniques. *Korean J. Fish Aquat. Sci.*, **44**(6): 772-784.
- Hwang, D.W., Jin, H.G., Kim, S.S., Kim, J.D., Park, J.S. and Kim, S.G. (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., Lee, T.H., Choi, J.S., Choi, D.L. and Woo, H.J. (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 Cho, S.M. (2003) The physicochemical characteristics of seawater and sediment of marine shellfish farm in Jindong Bay. *Korean J. Malacol.*, **19**(2): 161-169.
- Kang, C.K., Lee, P.Y., Park, J.S. and Kim, P.J. (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., Lee, S.J. Jeong, W.G. and Cho, S.M. (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, H.S. (2016) Phytoplankton variability in digestive of the Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) in Gomso bay, west coast of Korea. *Korean J. Malacol.*, **32**(3): 165-174.
- Kim, S.K., Lee, M.K., Ahn, J.H., Kang, S.W. and Jeon, S.H. (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, H.S. (2016) Growth of the manila clam (*Ruditapes philippinarum*) cultured in Gomso tidal flat, Korea *Korean J. Malacol.*, **32**(3): 189-195.
- Lim, D.I., Choi, J.Y., Choi, H.W. and Kim, Y.O. (2007) Natural background level analysis of heavy metal concentration Korean coastal sediments. *Ocean and Polar Research*, **29**(4): 379-389.
- Ministry of oceans and fisheries (MOF). (2016) <http://www.fips.go.kr/>
- 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., Lee, S.J., Kim, B.H. and Park, K.Y. (2004) Tolerantness against Water Temperature and Growth of *Ruditapes philippinarum* Spats in Difference 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.I., Choi, K.S. and Choi, J.W. (1999) Epizootiology of Perkinsus sp. found in the Manila Clam *Ruditapes philippinarum* Komso Bay, Korea. *Korean J. Korean Fish. Soc.*, **32**(4): 303-309.
- Park, K.I., Yang, H.S., Kang, D. H. Choi, K.S. (2010) Density dependent growth and mortality of Manila Clam *Ruditapes philippinarum* reared in cages in Gomso-bay, Korea. *Korean J. Malacol.*, **26**(1): 91-95.
- Park, K.J., Choi, Y.S., Heo, S., Kang, H.W., Han, H.S. and O, H.C. (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., Song, J.H., Choi, Y.S. and An, K.H. (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 Shin, S.H. (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., Choi, M.S. and Ahn, Y.W. (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.

- Taylor, S. R. and McLennan, S. M. (1995) The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophys*, **33**: 241-265.
- Woo, H.J., Choi, J.U., Ryu, J. H., Choi, S.H. and Kim, S.R. (2005) Sedimentary Environment in the Hwangdo Tidal Flat, Cheonsu Bay. *J. Korean Wetland. Soc.*, **7**(2): 53-67.