

남해 연안 피조개 (*Scapharca broughtonii*) 양식장의 환경특성

최윤석, 정춘구¹

국립수산과학원 서해수산연구소 갯벌연구센터, ¹국립해양생물자원관

The effect of geochemical characteristics and environmental factors on the growth of cultured Arkshell *Scapharca broughtonii* at several shellfish-farming bays on the South coast of Korea

Yoon Seok Choi and Choon-Goo Jung¹

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

¹National Biodiversity Institute, Seochun 325-902, Korea

ABSTRACT

To assess the effects of environmental factors on the sustainability of cultured ark shell *Scapharca broughtonii* production, we investigated the habitat characteristics of shellfish-farming bays (Gangjin Bay, Yeoja Bay, Keoje Bay and Deukryang Bay). We measured the physiochemical parameters (temperature, salinity, dissolved oxygen, nutrients, chemical oxygen demand and Chlorophyll *a*) and the geochemical characteristics (chemical oxygen demand, ignition loss, C/N ratio and C/S ratio). Surface sediments were collected from several shellfish-farming bays to examine the geochemical characteristics of both the benthic environment and heavy metal pollution. The grain sizes for Gangjin Bay, Yeoja Bay and Keoje Bay were similar, at the ratio of silt and clay in comparison with Deukryang bay of it. The C/N ratio was more than 5.9, reflecting the range arising from the mix of marine organisms and organic matter. The C/S ratio (more than 4.2) showed that the survey area had anoxic or sub-anoxic bottom conditions. The index of accumulation rate (I_{geo}) of the metals showed that those research areas can be classified as heavily polluted, heavily to moderately polluted, or more or less unpolluted, respectively. We suggested that the growth of ark shell *Scapharca broughtonii* in the shellfish-farming bay was effected by the various environmental conditions.

Key words: Physiochemical parameters, Geochemical characteristics, Cultured ark shell, Enrichment factor, Geoaccumulation index

서 론

남해연안 피조개 양식장은 먹이원이 풍부하여 패류 생산에 매우 적합한 환경으로 1970년대 이후에 양식기술의 개발로 생

산량이 증가하여 1980년대 후반까지 생산량의 최고치를 나타내었다. 그러나 1990년 초에 생산량이 감소하기 시작하여 1995년에 생산량이 9,357 M/T 로 격감하였다. 또한 양식면적당 생산량도 감소하여 1995년에 1.2 M/T로 낮아졌다. 이와 같이 생산량이 감소한 이유는 장기간의 연작과 밀식으로 인한 양식장의 저질 악화로 인한 대량폐사의 발생과 생존율의 감소를 원인으로 생각할 수 있다 Park *et al.*, (1998), Oh *et al.*, (2014). 따라서 피조개 양식장의 어장환경의 악화로 폐사가 발생하고 생존율이 1.5 % 수준으로 감소하여 생산량이 줄어들고 있으며, 또한 지역에 따라 해수수질 및 양식장 저질의 지화학적 특성은 상이하므로 피조개의 육중량비 차이가 발생하여 지역별 생산성의 변동이 크게 차이가 나고 있다. 이러한 양식장

Received: August 29, 2016; Revised: September 28, 2016;
Accepted: September 30, 2016

Corresponding author : Choon-Goo Jung

Tel: +82 (41) 950-0700, e-mail: cgjung@mabik.re.kr
1225-3480/24622

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.

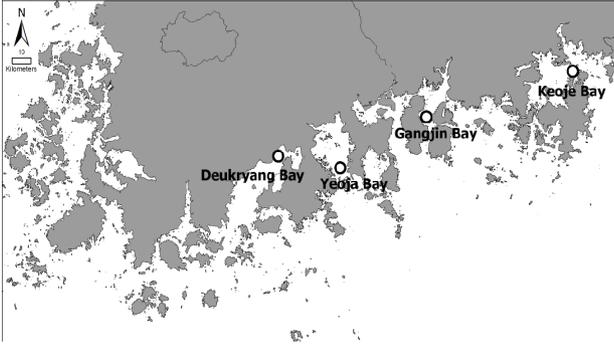


Fig. 1. Map of several shellfish-farming bays showing the sample sites.

의 어장환경변화에 따른 생산성을 평가하기 위하여 남해연안 피조개 양식장의 서식환경에 따른 어장환경특성을 조사할 필요성이 대두되고 있다. 그러므로 피조개 양식장에서 대량폐사 문제가 발생할 수 있는 요인과 연계할 수 있는 환경오염에 대한 모니터링을 지속적으로 진행하여 생산성을 향상시킬 수 있는 방안을 모색하여야 한다 (Jeong *et al.*, 2003; Kang *et al.*, 2012). 이 연구의 대상해역인 남해안 강진만, 여자만, 거제만과 득량만 피조개 양식장은 서식지와 성장에 필요한 환경이 상이하여 생산량과 육중량의 차이가 매우 큰 차이가 있으므로 환경특성에 따른 생산성의 상관관계를 연구할 수 있는 곳이다. 따라서 본 연구는 피조개 양식에 영향을 미치는 지화학적 특성과 관련된 환경특성을 분석한 기초자료를 확보하여 양식장 평가를 위한 기준을 마련하고 지속적인 생산성 향상을 도모하기 위한 기초자료 제시와 대량폐사를 줄이는데 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 시료 채취

남해안 강진만, 여자만, 거제만과 득량만 피조개 양식어장에서 해수, 퇴적물 그리고 피조개를 2008년 3월부터 11월까지 채취하였다 (Fig. 1). 그리고 현장에서 채취한 해수 시료와 퇴적물 및 패류 시료는 즉시 냉장보관함에 담아 실험실로 옮긴 후 해양환경공정시험기준 (해양수산부, 2006) 에 따라 분석하였다.

2. 수질 분석

피조개 양식어장의 조사해역에서 매일 1회씩 수질환경조사를 실시하였다. 현장에서 수질측정기 (YSI-6920) 를 사용하여 수온, 염분, 수소이온농도 (pH) 및 용존산소 (DO) 를 직접 측정하였고 영양염 분석용 시료는 현장에서 채취하여 실험실로 옮긴 후 자외선/가시광선 분광광도계를 사용하여 비색법으로 측정하였다.

3. 표층퇴적물 분석

피조개 양식어장의 퇴적물 특성을 평가하기 위하여 그랩을 사용하여 퇴적물 시료를 채집하였고 입도, 유기물 함량, 함수율, 화학적 산소요구량 및 산 휘발성 황화물을 분석하였다.

퇴적물의 평균입도 분석 (Mean grain size, Mz) 은 채취한 시료를 약 20 g 정도 취하여 이온교환수를 이용하여 염분을 제거하였다. 그리고 입자의 확산을 위해 10 % 과산화수소 (H_2O_2) 와 0.1 N 염산 (HCl) 을 넣어 유기물과 탄산염 ($CaCO_3$) 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 측정 후 전기로에 넣고 550°C에서 4시간 가열한 후 데시케이터 안에서 방열하였다. 그리고 방열된 도가니의 무게를 측정 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. 그리고 데시케이터 안에서 실온으로 냉각시킨 후 도가니의 무게를 측정하여 계산하였다.

산 휘발성 황화물 (Acid Volatile Sulfide, AVS) 은 퇴적물 습시료 약 2-3 g의 무게를 취하여 황화수소 (H_2S) 발생관에 넣은 후 약간의 증류수와 황산 2 mL를 넣고 2-3 초 후에 수동 펌프를 서서히 당겨 이때 발생하는 황화수소가 검시관에 흡수되도록 하여 분석하였다.

퇴적물의 화학적산소요구량 (Chemical Oxygen Demand, COD) 은 먼저 습시료 약 1 g의 무게를 취하여 250 mL 삼각플라스크에 넣고 0.1 N $KMnO_4$ 100 mL 와 10 % NaOH 5 mL 를 넣고 잘 흔든 다음, 시료와 시약이 담긴 플라스크를 끓는 물에서 1 시간 동안 증탕하였다. 시료를 실온으로 냉각한 후 10 % KI 용액 10 mL 와 4 % $NaNO_3$ 용액 한 방울을 넣는다. 그리고 증류수를 가해 500 mL 로 만든 후 유리섬유 여과지를 사용하여 여과한다. 여과된 용액 100 mL 에 30 % H_2SO_4 2 mL 를 넣고 잘 흔든 다음 0.1 N $Na_2S_2O_3 \cdot H_2O$ 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 중금

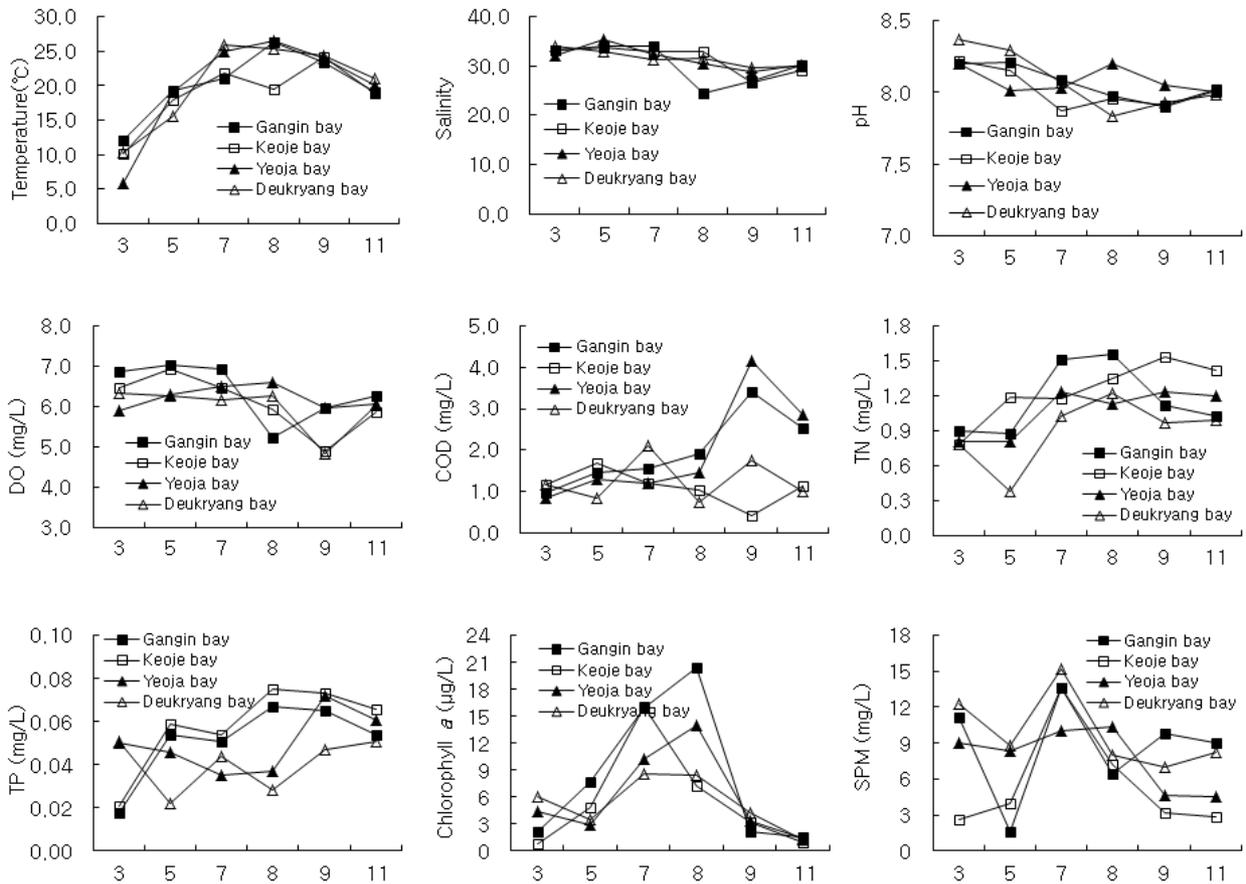


Fig. 2. Monthly changes of the physiochemical parameters at the survey area.

속의 분석은 동결건조된 퇴적물 시료를 진한 질산 : 과염소산 : 불소산 = 2 : 1 : 2의 혼합된 산 10 mL를 첨가하고 마이크로 파 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 분해장치의 산 분해시료에 8개의 시료와 2개의 정도관리 표준물질 MESS-3를 시료와 동일하게 산 분해하여 시료로 준비하여 유도결합질량분석기 (inductively coupled plasma mass; ICP-MS, Model: Elan 9000, Perkin Elmer Co.) 로 분석하였다.

결 과

1. 일반 수질 및 영양염류

피조개 양식어장에서 조사점점의 수온, 염분, 용존산소 및 pH 값의 변화는 크게 나타나지 않았다. 그리고 용존산소량의 변화는 거제와 득량만에서 9월에 낮은 값을 나타내었으며, 강

진만에서 8월에 낮은 값을 나타내었다. pH는 7.81-8.07로 피조개 성장에는 별다른 영향을 미치지 않는 범위였다 (Fig. 2).

2. 표층 퇴적물의 유기물 오염도 및 입도조성

1) 입도조성과 지화학적 환경요인

표층 퇴적물의 입도조성은 조사한 4개 지역에서 니질로 피조개 양식에 적합한 것으로 나타났다 (Table 1).

조사지역 표층 퇴적물의 지화학적 환경요인은 그림 3에 나타내었다 (Fig. 3).

2) 표층퇴적물의 C/N 비와 C/S 비

피조개 어장 표층 퇴적물의 유기물 오염에 관한 기원을 조사하기 위하여 C/N 비와 저서환경을 평가하기 위해서 유기물중의 C/S 비를 검토하였다 (Table 2).

3. 표층 퇴적물의 금속원소 함유량 및 저서환경 오염평가

1) 금속원소의 농집지수와 오염수준

농집지수 (Igeo) 는 Müller (1979) 에 의하여 제시된 것으

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

Sample Site	Results of Mz								
	Textures (%)				Sediment type (Folk, 1968)	Statistical parameters			
	Gravel	Sand	Silt	Clay		Mean (phi)	Sort (phi)	Skew	Kurt
Gangjin Bay	0.00	2.49	40.07	57.44	M	8.33	1.66	- 0.06	0.89
Yeoja Bay	0.00	2.92	39.25	57.83	M	8.31	1.70	- 0.12	0.88
Keoje Bay	0.00	2.19	47.56	50.25	M	8.16	2.13	0.06	0.87
Deukryang Bay	0.00	0.64	50.68	48.69	M	8.07	1.92	0.08	0.88

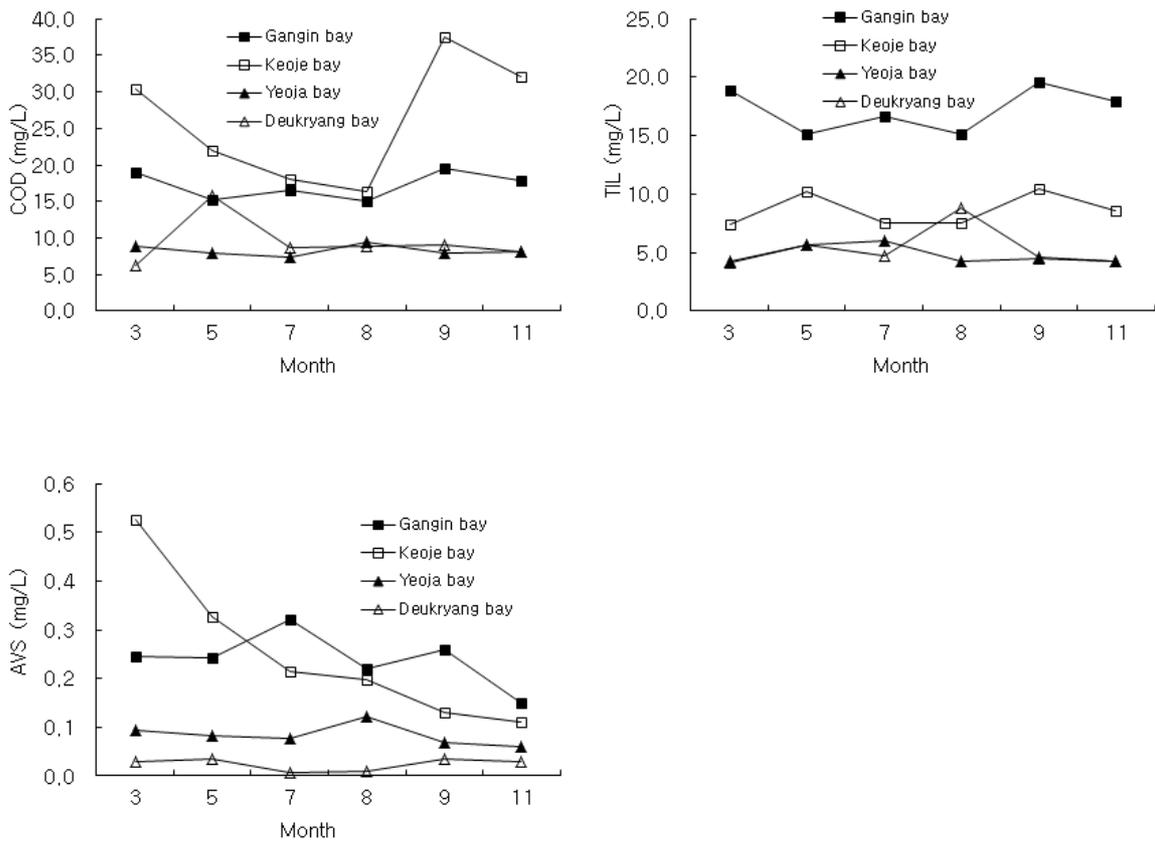


Fig. 3. Geochemical characteristics of surface sediment in the survey areas.

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
Gangjin Bay	5.958	4.251
Yeoja Bay	5.961	4.245
Keoje Bay	5.972	4.235
Deukryang Bay	5.990	4.260

Table 3. Classification of geoaccumulation index (Müller, 1979) and the number of Igeo class for the concentrations of metallic elements in intertidal surface sediment at the survey in the south coast of Korea

Location	Igeo						
	Cu	Cd	Pb	Cr	As	Zn	Mn
Gangjin Bay	1.13	3.66	0.75	0.59	0.97	0.91	0.40
Yeoja Bay	0.40	0.40	0.42	0.52	0.41	0.51	0.86
Keoje Bay	1.15	4.62	0.88	0.67	1.40	1.08	1.06
Deukryang Bay	0.45	2.71	0.41	0.41	0.41	0.41	0.42

로 이 방법은 다음의 식을 이용하여 계산한다.

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{B_n \times 1.5}$$

여기서 C_n 은 연구지역내 분석된 금속원소의 농도이며, B_n 은 금속원소의 바탕농도 (background of reference) 를 나타낸다. 위의 식을 이용하여 계산한 농집지수 (Igeo) 값을 Table 3에 나타내었다.

4. 조사해역 피조개의 생존율

조사해역에서 채집한 피조개의 생존율을 그림 4에 나타내었다. 강진만에서 4월 이후에 생존율이 내려가면서 많은 폐사가 발생하였고 거제만은 생존율의 감소폭이 적게 나타났다. 그리고 조사해역 모든 지역에서 5월부터 8월 사이에 많은 폐사가 발생하고 있다.

이러한 피조개 생존율의 급감은 여름철 고수온, 저 비중과 먹이원인 클로로필의 감소로 인하여 발생하는 것으로 추측할 수 있다 (Shin et al., 2008).

고찰

본 연구에서 조사해역의 네 지역 양식장에서 거제만이 다른 지역에 비하여 수온은 8월에 낮지만 크게 차이하지 않고 있어 네 지역의 온도에 의한 피조개의 생물지리적 성장에 관한 직접적인 영향을 논할 수는 없었다.

조사지역에서 성층화 현상은 여름철 내만 일부해역에서 일어나고 월별 용존산소농도는 6-7 mg/L 수준이며 염분과 pH의 분포도는 피조개와 저서생물이 생존하는데 큰 영향을 받지 않는다. 그러나 수온이 증가하는 7월과 9월에 용존산소의 농도가 감소하면서 피조개의 생존율을 떨어뜨리는 원인으로 사료된다.

용존무기질소는 득량만에서 5월에 낮은 농도를 나타냈지만 7월 이후에 조사해역의 네 지역에서 유사한 농도를 보여 피조개의 성장에 차이점이 나타나지 않았다. 그러나 조사 지역의 클로로필 a 농도는 7-8월에 부영양화 기준인 7 µg/L 보다 높게 나타났지만, 8월 이후 부영양화 기준보다 낮은 농도를 보였다. 따라서 8월 이후에 피조개의 성장에 영향을 미치는 요인으로 작용할 수 있는 것으로 생각된다.

연안에 서식하는 피조개의 분포는 퇴적물의 입도조성에 영향을 받으며, 퇴적물의 산소교환, 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 피조개 서식지의 환경요인은 주로 퇴적물의 조성에 많은 영향을 받게 되므로 표층퇴적물을 채취하여 조사하였다. 조사결과 평균입도 (Mz) 는 8.07-8.33 범위를 보였고 분급도는 1.66-2.13 범위로 피조개 양식에 적합한 지역으로 나타났다. 퇴적물의 조성에 있어서도 모래함량이 0.64-2.92 %로 득량만이 가장 낮으며 분급도는 1.66-2.13 φ 로 나타났다. 이와 같은 퇴적물의 조성특성에 따라 피조개의 각장, 생존율에서 많은 차이점을 나타내었다.

퇴적물의 지화학적 요인으로 강열감량 (IL) 과 산취발성화합물 (AVS) 및 함수율 (WC) 은 유사한 양상을 보이며 큰 차

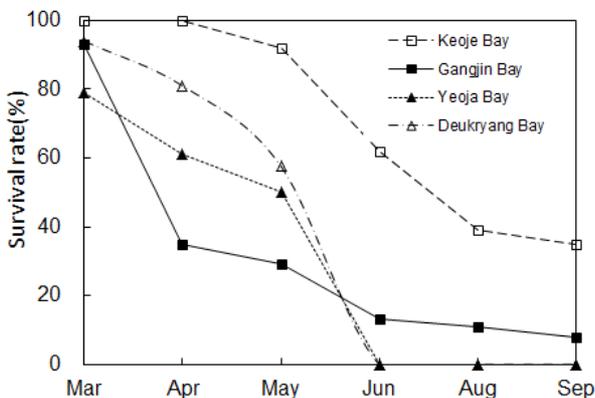


Fig. 4. Survival rate of *Scapharca broughtonii* production in the survey areas.

이가 나타나지 않았다. 한편 화학적산소요구량 (COD) 은 거제만의 조사 정점에서 월별 변화가 심하게 나타났으며 양식장 오염니 기준 (20.0 mg/g d.w.) 을 초과하여 나타났다. 그리고 산취발성화합물은 거제만에서 3월 (0.50 mg/g d.w.) 과 5월 (0.32 mg/g d.w.) 로 연중 제일 높은 값을 보였으며 강진만에서 일본의 퇴적물 오염기준 (0.20 mg/g d.w.) 를 초과하여 나타났다.

피조개 양식어장의 표층 퇴적물 유기물 오염 (Kang *et al.*, 1993) 과 저서환경을 평가하기 위해서 C/N, C/S 비를 계산한 결과를 사용하였다. 일반적으로 C/N 비가 10 이상인 것은 대륙기원 유기물이 유입된 것을 나타내고 C/N 비가 5-10 정도의 값은 현장에서 생성된 해양기원의 유기물인 경우로 나타낸다 (Müller, 1979). 따라서 조사지역 모두 육지오염원이 적은 상태에서 피조개 양식에 일반적으로 적당한 환경을 가지고 있다. 조사지역의 표층퇴적물의 C/N 비 연구결과를 보면 네 지역 모두 10 이하의 비슷한 값을 보이고 있어 육지의 영향은 적고 해양기원의 유기물의 영향으로 나타나고 있다.

표층퇴적물층의 유기물은 육지에서 공급된 것과 현장에서 생성된 유기물이 혼합되어 있음을 지시하고 있으며, 일반적으로 퇴적물의 환경이 산화적인 해양환경인 경우는 C/S 비가 약 2.8 정도 되는 것으로 보고되어 있다 (Hyun, 2003). 따라서 C/S 비를 계산하여 조사지역 표층퇴적물의 퇴적환경을 평가한 조사 결과를 보면 네 지역의 C/S 비는 2.8 이상을 나타내고 있다. 이 값은 저질환경이 환원적 상태 (suboxic or anoxic) 에 달해 있으며, 유기물이 분해가 되기 전에 유기물의 급속한 퇴적이 되었을 가능성이 높아서 황화수소 함량이 증가에 따른 저질환경이 무산소 상태로 변화되어 가는 것으로 설명할 수 있다 (Hyun *et al.* 2003). 즉 피조개 양식어장의 밀식과 치폐의 과잉공급으로 인하여 폐사가 발생할 수 있는 저질환경으로 변해 가는 것으로 추측할 수 있다.

저질환경의 오염원 중에서 퇴적물 입자와 금속원소 및 유기물 함량은 강한 상관관계를 가지고 있으므로 (Cho *et al.* 2001; Kim *et al.*, 2005) 표층퇴적물과 저서환경에 대한 오염정도를 평가하기 위해서 (Hyun *et al.*, 2003) 일반적으로 농집지수 Geoaccumulation index (Igeo) 의 방법을 사용한다. 즉 퇴적물에 함유된 금속원소의 농도를 오염되지 않은 금속원소의 농도와 비교하는 방법으로 퇴적물 내 금속원소의 오염정도의 평가에 보편적으로 이용되고 있으며 일반적으로 금속원소의 바탕농도는 세일이나 지각물질의 금속원소의 평균농도를 사용한다 (Lim *et al.* 2007). 또는 해당연구지역에서 가장 낮은 농도를 사용하여 계산하기도 한다 (Hyun *et al.* 2003, Hwang *et al.* 2006).

그리고 농집지수 (Igeo) 는 그 값에 따라 7 등급으로 구분하여 정량할 수 있어 연구지역내 측정된 금속원소의 상대적인 농

축정도에 대한 오염정도를 세분화할 수 있다. 즉 Igeo class가 0은 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 polluted 으로 세분화 한다. 조사결과에 따르면 강진만과 거제만은 0-4 사이의 값으로 Cd 원소만 오염된 수준이었으며, 여자만은 대부분의 원소가 0으로 오염되지 않은 수준이었으며, 득량만은 0-2 값을 나타내지만 Cd 원소가 약간 오염된 수준이었다. 따라서 연구결과 여자만에서 대부분 Igeo class가 0에 집중되어 있어 오염되지 않은 수준으로 (practically unpolluted) 나타났다.

요 약

피조개 양식장의 해수 수온, 염분, pH, DO, 영양염, COD 의 조사결과 해역별 편차가 적게 나타났다. 그리고 엽록소 *a* 농도는 7-8월에 부영양화 기준인 7 μ g/L 보다 높게 나타났지만 8월 이후 부영양화 기준보다 낮은 농도를 보였다. 따라서 피조개 양식장에서 서식환경에 의한 생존율의 급감은 여름철 고수온, 낮은 용존산소량과 먹이원인 클로로필의 감소로 인하여 발생하는 것으로 사료된다.

퇴적물의 강열감량 (IL) 과 산취발성화합물 (AVS) 및 함수율 (WC) 은 유사한 양상을 보이며 큰 차이가 나타나지 않았으며 화학적산소요구량 (COD) 은 거제만의 조사 정점에서 월별 변화가 심하게 나타났다.

퇴적물의 평균입도 (Mz) 는 8.07-8.33 범위를 보였고 분급도는 1.66-2.13 범위로 피조개 양식에 적합한 지역으로 나타났다.

퇴적물의 C/N 비는 양식장에서 5-10 사이의 값을 나타내어 해양기원의 유기물에 의한 것으로 추정되며, C/S 비는 지역에서 2.8 이상으로 유기물이 분해되기 전에 유기물의 급속한 퇴적이 이루어졌을 환경으로 조사 되었다.

중금속에 대한 농집지수 (Igeo) 의 결과는 연구지역이 Igeo class가 0에서 4 사이로 분포되어 있어 오염되지 않았거나 약간 오염된 수준으로 (practically unpolluted / moderately polluted) 나타났다.

사 사

이 논문은 2016년도 국립수산물과학원 수산과학연구사업 (R-201657) 의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- 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.
- Fork, R. L., (1968) *Petrology of Sedimentary Rock*, pp. 170. Hemphill Publishing Co., Austin TX, U.S.A.
- 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 physiochemical 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, 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, 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.
- 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.
- Müller G., (1979) Schwenetalle in den sedimenten des Rheins - Verderygen Seit. *Umschau.*, **24**: 778-783
- Oh, B.S., Jin, Y.G., Jung, C.G., Lim, W.A. and Kim, S.Y., (2014) A Study on Survival and Growth of Ark shell, *Scapharca broughtonii* with differential density during hanging culture. *Korean J. Malacol.*, **30**(1): 17-23.
- Park, M.S. Lim, H.J. and Kim, P.J. (1998) Effect of Environmental Factors on the Growth, Glycogen and Hemoglobin Content of Ark shell *Scapharca broughtonii*. *J. Korean Fish. Soc.*, **31**(2): 176-185.
- Shin, Y. K., Kim, B. H. and Choi, N. J. (2008) Influence of Temperature, Salinity and Hypoxia on Survival and Metabolic Rate in the Ark Shell, *Scapharca broughtonii*. *Korean J. Malacol.*, **24**(1): 59-65.
- 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.