

안정만 패류양식해역의 표층퇴적물의 지화학적특성과 중금속 함량

정우건¹, 조상만², 이상준¹

¹경상대학교 해양생명과학과, ²군산대학교 해양생명과학과

Physicochemical Characteristics and Heavy Metal in the Surface Sediments of Marine Shellfish Farming Waters in Anjung Bay, Korea

Woo-Geon Jeong¹, Sang-Man Cho² and Sang-Jun Lee¹

¹Department of Marine biology and Aquaculture, Gyeongsang National University, 445 Inpyeong, Tongyoeng 650-160, Korea

²Department of Aquaculture and Aquatic Science, Kunsan National University, 558 Daehak-ro, Gunsan 573-701, Korea

ABSTRACT

Total 20 surface sediments were collected in Anjung bay to investigate the physicochemical environment and heavy metal contents. The physicochemical investigation ranged from 6.41% to 11.68% (average $9.52 \pm 1.28\%$) for ignition loss (IL), from 17.99 mg/g to 43.84 mg/g (average 27.53 ± 6.39 mg/g) for chemical oxygen demand (COD), and from 0.05 mg/g to 0.61 mg/g (average 0.17 ± 0.14 mg/g) for acid volatile sulfide (AVS) with significant correlation between water content (W/C) and COD. A contour of spatial distribution indicated higher organic pollution at the bottom of ascidian, *Stylea clava*, cultural waters. Most of metals contents was not exceeded the NOAA's effect range-low (ERL). Estimated enrichment factor (EF) ranging 0.96-1.12 indicated that the sediment environment of the studied waters was relatively pristine from heavy metal pollution in spite of increased vessel traffics, so far.

Key words: Anjung Bay, COD, Sediment, Heavy metal, Enrichment factor

서 론

연안 해역으로 유입된 오염물질들은 해수중의 입자성 물질들과 결합하여 침강 저질로 침강 퇴적되어 제거되지만, 용출과 재부유 등으로 해수와 끊임없이 상호영향을 끼치게 된다 (Louma, 1990). 따라서 저질은 해역의 장기적인 환경변화를 추적하는데 매우 효과적이며, 해역의 화학환경이나 생지화학적 환경의 변화에 대한 지표로 널리 이용되고 있다.

일반적으로 수계로 유입된 중금속은 수중에서 입자성 물질에 흡착되어 퇴적물로 침적되므로, 이러한 퇴적물은 주변 유역으로부터 오염물질의 유입 정보 및 수계 내에서 진행된 다양한 생지화학적 과정에 관한 정보를 기록하고 있고, 이러한 기록은 지속성을 가진 연대기적인 의미를 지니므로 환경 변화를 이해하는데 매우 유용한 것으로 알려져 있다 (Forstner, 1981).

이 연구 대상 해역인 안정만은 행정구역상 경남 통영시 광도면과 고성군 거류면, 거제시 사등면을 접하고 있으며, 만 내측에는 가조도, 어의도, 수도, 지도 등 섬들이 산재되어 있는 전통적인 굴양식해역이다. 조사해역 내에는 총 45 개소의 굴양식장이 약 169 ha의 면적을 차지하고 있지만, 근년 들어 만의 서측에는 안정공단이 형성되어 지속적인 선박의 왕래가 잦아지고, 만의 북측에는 굴 연승수하식에서 흰명게 연승수하식으로 양식품종 전환이 이뤄지고 있다. 선박의 방오도료 등에서 유출된 다양한 물질이 저질 및 양식생물에 미치는 악영향을 미치는 것으로 보고되고 있고 (Kahng *et al.*, 1996; Hong *et al.*, 2001), 흰명게의 여수율이 굴보다 월등히 높아 이로부터

Received: December 9, 2014; Revised: December 20, 2014;
Accepted: December 24, 2014

Corresponding author : Woo-Geon Jeong
Tel: +82 (55) 772-9151 e-mail: jwg@gnu.ac.kr
1225-3480/24555

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.

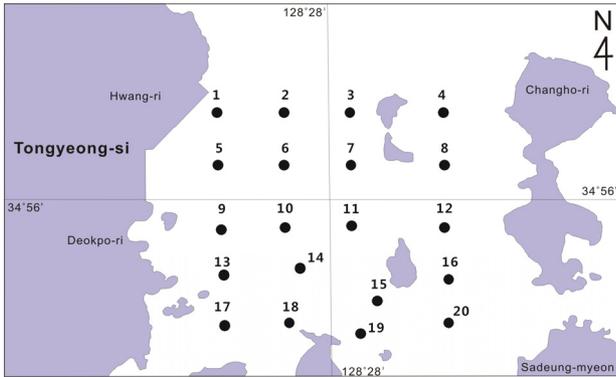


Fig. 1. Location of the study area and sampling stations.

유래되는 배설물질의 퇴적속도도 확연하게 차이가 있는 것을 (Kim and Moon, 1998) 감안하면, 이 해역의 지속적 생산성 확보를 위해서는 저질 환경에 대한 지속적인 모니터링이 요구된다. 따라서 이 연구는 경남 통영시 인근의 굴양식해역인 안정해역의 저층퇴적물의 지화학적 오염도를 평가하여 해역의 환경관리를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

경남 연안의 주요 양식해역인 안정해역의 저질환경을 모니터링하기 위하여 2009년 11월과 2010년 2월에 총 20개 정점을 설정하여 저질을 분석하였다 (Fig. 1). 시료채취는 코어채취기를 이용하여 한 정점에서 3회 채취를 하였고, 이중 약 2 cm 정도의 표층 시료만 분리하여 2 N 염산으로 세척한 폴리에틸렌 시료병에 담아 실험실로 옮긴 후 실험 시까지 -20°C에서 냉동 보관하였다.

퇴적물 중 유기물량을 측정하는데 있어서 탄소량을 측정하는 가장 간편한 방법중 하나인 강열감량 (IL, Ignition loss)을 측정하였다. 이는 550°C 회화로에서 회화한 후 중량 감소분을 백분율로 나타내었다. 산 휘발성황화물 (AVS, Acid volatile sulfide)은 검지관법을 이용하여 측정하였다. 일정량의 퇴적물을 황화수소 발생기에 넣고 황산 2 ml를 가하여 발생하는 황화수소량을 가스검지관을 이용하여 측정하였다. 저질 중의 화학적산소요구량 (COD, Chemical oxygen demand)은 습시료에 포함된 유기물을 과망간산칼륨으로 산화시킬 때 소모되는 산소소비량으로 구하였다 (Ministry of Land, Transport and Marine Affairs, 2010).

중금속분석을 위하여 채취한 표층퇴적물 시료는 플라스틱 편셋을 이용하여 패각이나 자갈 등의 이물질을 제거하고, 미리 산 세척된 플라스틱 광구병에 넣어 동결 건조하였다. 건조된 시료는 막자사발에 곱게 분쇄하여 중금속 분석에 활용하였다. 분쇄된 건조시료의 0.5 g의 취하여 혼합산 (질산 10 ml,

과염소산 5 ml 및 불소산 10 ml)을 가하여 DigiPREP (SCP Science, Quebec, Canada)을 이용하여 130°C에서 용해하였다. Al, Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn 등 총 7개 원소들을 유도결합플라즈마 흡광분석기 (ICP)로 분석하였으며, 각 원소별 검량선은 각 원소별 표준용액을 이용하여 분석하였고, 회수율은 NIST SRM Inorganics in Marine Sediment (SRM 2702, NIST, USA)를 이용하여 동일한 방법에 따라 분석하였다.

퇴적물 내에 농축되기 쉬운 중금속들의 부화지수 (enrichment factor; EF)를 산정하여 상대적 오염도를 평가하였다. 부화지수란 연구시료의 원소가 퇴적물 내에서 안정성이 높고, 일반적으로 중금속 오염과 크게 상관없는 보존성 원소인 Fe의 비를 지각평균 혹은 퇴적물 평균값으로 나누어준 계산식을 말한다. 이 연구에서는 평균 Fe 함량을 이용하여 아래와 같이 계산하였다.

$$EF = \frac{(C_i/Fe)_S}{(C_i/Fe)_M}$$

이때 $(C_i/Fe)_S$ 는 각 시료의 중금속 함량과 Fe 함량의 비율이며, $(C_i/Fe)_M$ 는 토양의 중금속 평균함량과 Fe 평균함량의 비율이다. 각 측정치간의 통계 분석은 Sigmaplot 프로그램 (Systat Software Inc., Germany)을 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 표층퇴적물의 유기오염 분포

조사해역의 저질 중의 COD는 2009년 11월에는 17.99-38.79 mg/g (평균 26.12 ± 6.55 mg/g)였고, 2010년 2월은 19.57-43.84 mg/g (평균 28.94 ± 6.06 mg/g)으로 조사 시기별 차이는 크지 않았다. 정점별로는 조사정점 1, 5, 7, 10, 13이 29.64-43.84 mg/g의 범위로 다른 조사정점에 비해 높았는데 (Fig. 2a), 이 정점들은 통영시 안정공단과 인접하고 있다. 통영 인근 굴양식해역의 일반적인 저질 COD분포는 양식해역의 특성에 따라 차이가 커서 해수유통이 좋은 해역은 비교적 낮지만 원문만과 같이 해수유통이 좋지 않은 해역은 40-50 mg/g에 달한다고 보고되고 있다 (Cho *et al.*, 2013; Choi *et al.*, 2013).

IL은 2009년 11월 6.4-11.7%의 범위, 2010년 2월 6.58-11.2%의 범위로 큰 차이가 없었다. 정점별로는 조사해역의 서쪽 안정공단 주변의 조사정점 5, 9, 13이 10.53-11%로 다른 정점보다 높게 나타났다 (Fig. 2b). 이러한 IL 분포는 고성군의 반대쪽 해역인 고성만보다 높았지만 (Kang *et al.*, 2012), 타 굴양식해역과는 비슷한 수준이었다 (Choi *et al.*, 2013).

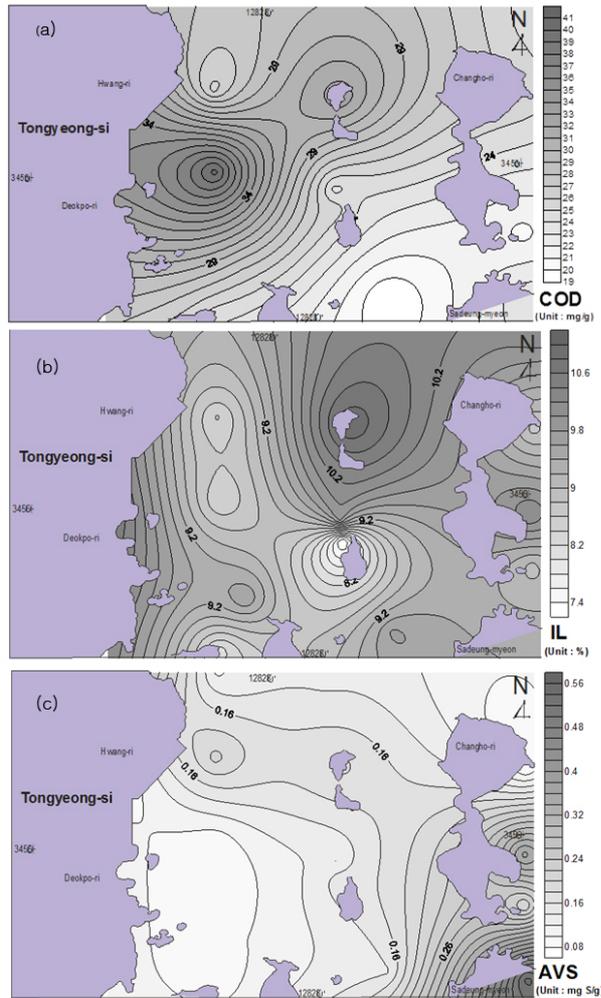


Fig. 2. Spatial distribution of sedimentary environments in oyster cultural waters of Anjung Bay: (a) COD, (b) IL and (c) AVS.

시료중의 유기물 지표의 하나로서 IL과 COD는 서로 상관관계가 있는 것으로 알려져 있으며 우리 해역에서도 IL과 COD는 서로 유의한 상관관계가 있는 것으로 나타났다 ($r = 0.327$, $p = 0.0394$, $n = 40$). 한편 COD는 수분함량과도 높은 상관관계를 나타내었는데 ($r = 0.542$, $p = 0.000304$, $n = 40$), 이는 수분함량이 높은 실트나 점토와 같이 입자가 고운 저질일수록 유기물 함량이 높은 것을 의미하고, 이 해역에서 이러한 고운입자의 저질은 대부분 양식생물의 분에서 유래되는 것으로 판단된다 (Table 1).

AVS는 0.05-0.54 mg S/g의 범위였고, 조사정점별 평균 함량은 조사정점 1과 20이 각각 0.51 mg S/g, 0.54 mg S/g로 가장 높았다. 2010년 2월 조사 시에는 0.07-0.61 mg S/g의 범위였고, 조사정점별 평균 함량은 조사정점 12, 20이 각각

0.61 mg S/g, 0.55 mg S/g로 가장 높았다 (Fig. 2c). 저질중의 황화물은 유기성 침강물이 분해되며 과다한 산소 소비로 인하여 황산염 환원세균이 증식됨에 따라 황화수소가 생성된다. 생성된 황화수소는 다시 저질중의 금속 등과 결합하여 황화물을 생성하는 것으로 알려져 있어, 황화물의 증가는 저질 환경의 산소수지의 불안정을 야기하고 있다는 것을 의미하며, 특히 저질 상층의 수역에 빈산소 또는 무산소 수괴가 형성될 수도 있다. 퇴적물 중에 AVS 함량은 퇴적물의 건강도를 평가하는 기준으로 자주 이용되고 있고, 패류양식해역에서 이러한 저질 환경지표는 저서성 다모류의 출현종수나 서식밀도보다는 군집의 다양성과 안정성에 높은 상관관계를 나타내는 것으로 보고되고 있다 (Cho *et al.*, 2013).

조사해역의 유기오염지표는 함수율과 밀접한 관련이 있었고, 이는 이 해역으로 유입되는 고운 입자성분의 축적물질에서 기인되는 것으로 보인다. 해역으로의 저질입자 유입에 가장 큰 기여를 하는 것은 해역내 양식장에서 발생하는 양식생물의 배설물의 기여도가 높은 것으로 판단된다. 조사해역의 북쪽에 위치한 경남 진동만의 경우 전체 해역 침강량 중 양식생물에 의한 침강량은 53.2%에 달하는 것으로 보고되었다 (Jeong and Cho, 2003). 또한 조사해역으로는 뚜렷한 하천수의 유입이 없는 점을 고려하면 안정해역에서 양식생물의 배설물에 의한 오염부하가 차지하는 비중은 상당히 높을 것으로 판단된다.

최근 굴의 식품안전성 문제가 대두되면서 (Simmons *et al.*, 2007; Webby *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2009) 양식의 수익성이 점차 감소함에 따라 양식해역의 양식생물의 품종전환이 활발하게 이뤄지고 있고, 안정해역이 대표적 사례라고 할 수 있다. 이 해역의 북측에는 대부분의 양식장이 흰명게양식으로 품종전환이 이뤄졌고 남쪽으로는 굴 연승수하식 양식이 계속 이뤄지고 있는 실정이다 (Fig. 4). 굴에 비해 흰명게의 배설량이 훨씬 높은 것을 감안하면 (Cho *et al.*, 1991; Park *et al.*, 1997; Jeong and Cho, 2003), 북측해역의 양식생물로 인한 오염부하는 남측보다 훨씬 높은 것으로 판단된다. 이는 우리의 COD 조사 결과와 유사한 패턴을 나타내었다. 한편, AVS는 함수율이나 IL과 상관관계가 낮은 것으로 나타난 것은 이 해역으로 흰명게 양식장이 확산된 것이 몇 년이 지나지 않았기 때문으로 판단된다. 근년 들어 경남 진동만을 중심으로 분포하던 미더덕 및 흰명게 양식장이 점차 어장면적을 확대하고 있어 이에 따른 저질 환경변화가 나타날 것으로 예측된다.

2. 표층퇴적물의 중금속 분포 및 특성

안정만의 표층퇴적물 내 Al의 농도범위는 4.37-5.27%로 나타났으며 정점별로 큰 차이를 보이지 않았다 (Fig. 3a). Al은 지각물질 중에 높은 농도로 존재하는 원소들 중에 하나로 암석의 풍화나 풍화된 퇴적물들이 운반되는 도중에 농도변화가 매

Table 1. Analysis of pearson product moment correlation between sedimentary environments from Anjung Bay (n = 40).

	IL	AVS	COD	Al	Cd	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
W/C ¹	0.392	- 0.307	0.542	0.326	0.0335	0.0781	0.0235	0.0521	0.0126	0.0855
	p = 0.0123	p = 0.0539	p = 0.0003	p = 0.0399	p = 0.838	p = 0.632	p = 0.885	p = 0.749	p = 0.939	p = 0.6
IL		0.0569	0.327	0.0775	0.186	0.0978	0.176	0.202	0.251	0.0872
		p = 0.727	p = 0.0394	p = 0.635	p = 0.25	p = 0.548	p = 0.278	p = 0.21	p = 0.119	p = 0.593
AVS			- 0.121	0.158	- 0.079	0.0692	0.17	0.12	0.133	0.0767
			p = 0.456	p = 0.329	p = 0.628	p = 0.672	p = 0.294	p = 0.462	p = 0.413	p = 0.638
COD				0.0209	0.378	0.086	- 0.055	0.0493	0.0143	- 0.0897
				p = 0.898	p = 0.0161	p = 0.598	p = 0.736	p = 0.763	p = 0.93	p = 0.582
Al					0.0379	0.102	0.163	0.057	- 0.0475	0.136
					p = 0.817	p = 0.532	p = 0.314	p = 0.727	p = 0.771	p = 0.403
Cd						- 0.358	- 0.267	- 0.239	- 0.306	- 0.392
						p = 0.0234	p = 0.0964	p = 0.138	p = 0.0547	p = 0.0122
Cu							0.654	0.688	0.678	0.794
							p < 0.001	p < 0.001	p < 0.001	p < 0.001
Fe								0.946	0.885	0.932
								p < 0.001	p < 0.001	p < 0.001
Ni									0.95	0.906
									p < 0.001	p < 0.001
Pb										0.863
										p < 0.001

¹Water content of sediment

우 낮고, 액체상태보다는 고체상태로 운반되는 것으로 보고된 바 있다 (Martin and Meybeck, 1979).

표층퇴적물 Cu의 평균농도는 39.1 ± 12.5 ppm으로 나타났고, 다른 해역과 비교하였을 때, 고성만이나 마산만에 비해 안정만의 구리농도는 낮게 나타났는데, 이는 유역에 위치한 폐광산과 (Kang *et al.*, 2012), 조천소 등의 여파로 저질층의 구리와 같은 중금속 함량을 높이는 것으로 알려지고 있다 (Kim *et al.*, 2011). 최근 안정만 공단에 무분별한 조천소 건립에 따른 해역내 선박운항의 증가는 해역의 저질층 구리와 같은 중금속 농도의 증가를 유발할 것으로 예상되므로 지속적인 모니터링이 요구된다.

표층퇴적물 Cd 농도는 평균 0.32 ± 0.03 ppm으로 흔적적인 분포를 보였다 (Fig. 3c). 이는 인근해역인 고성만과 같은 비교적 오염원이 없는 해역과 비슷하였고, 마산만과 같은 오염된 해역보다는 낮게 나타났다 (Kim *et al.*, 2011; Kang *et al.*, 2012). 카드뮴은 출생시 인체 내에 거의 존재하지 않지만 체내로 유입되면 거의 배설되지 않고 생물학적 반감기가 길어

집중관리 대상이 되고 있다. 해역의 카드뮴 오염도는 매우 미미한 수준으로 미국 NOAA의 저질 관리 기준의 기준치 이하였다 (Buchman, 2008; Table 2).

표층퇴적물 Fe의 평균농도는 360.4 ± 128.5 ppm이었으며, 조사정점 11에서 652 ppm으로 가장 높게 나타났고, 조사정점 16에서 215.5 ppm으로 가장 낮게 나타났다 (Fig. 3d). 표층퇴적물 Ni의 평균농도는 29.6 ppm이었으며, 조사정점 19에서 57 ppm으로 가장 높게 나타났고, 조사정점 26에서 12.5 ppm으로 가장 낮게 나타났다 (Fig. 3e). 이는 남해안의 양식해역인 가막만과 비슷한 농도분포였다 (Kim *et al.*, 2012).

표층퇴적물중 Zn 평균농도는 136.1 ± 136.1 ppm으로 나타났고, 조사정점 11에서 231.5 ppm으로 가장 높은 농도로 나타내었고, 조사정점 4에서 91.5 ppm으로 가장 낮게 나타났다. Zn 농도는 정점에 따라 NOAA ERL (Effects Range-Low) 를 상회하는 곳도 있었지만, ERM (Effect Rang-Medium) 을 상회하는 곳은 없었다 (Table 2). 표층퇴적물 Pb의 평균농도는 29 ± 13.9 ppm으로 나타났고, NOAA

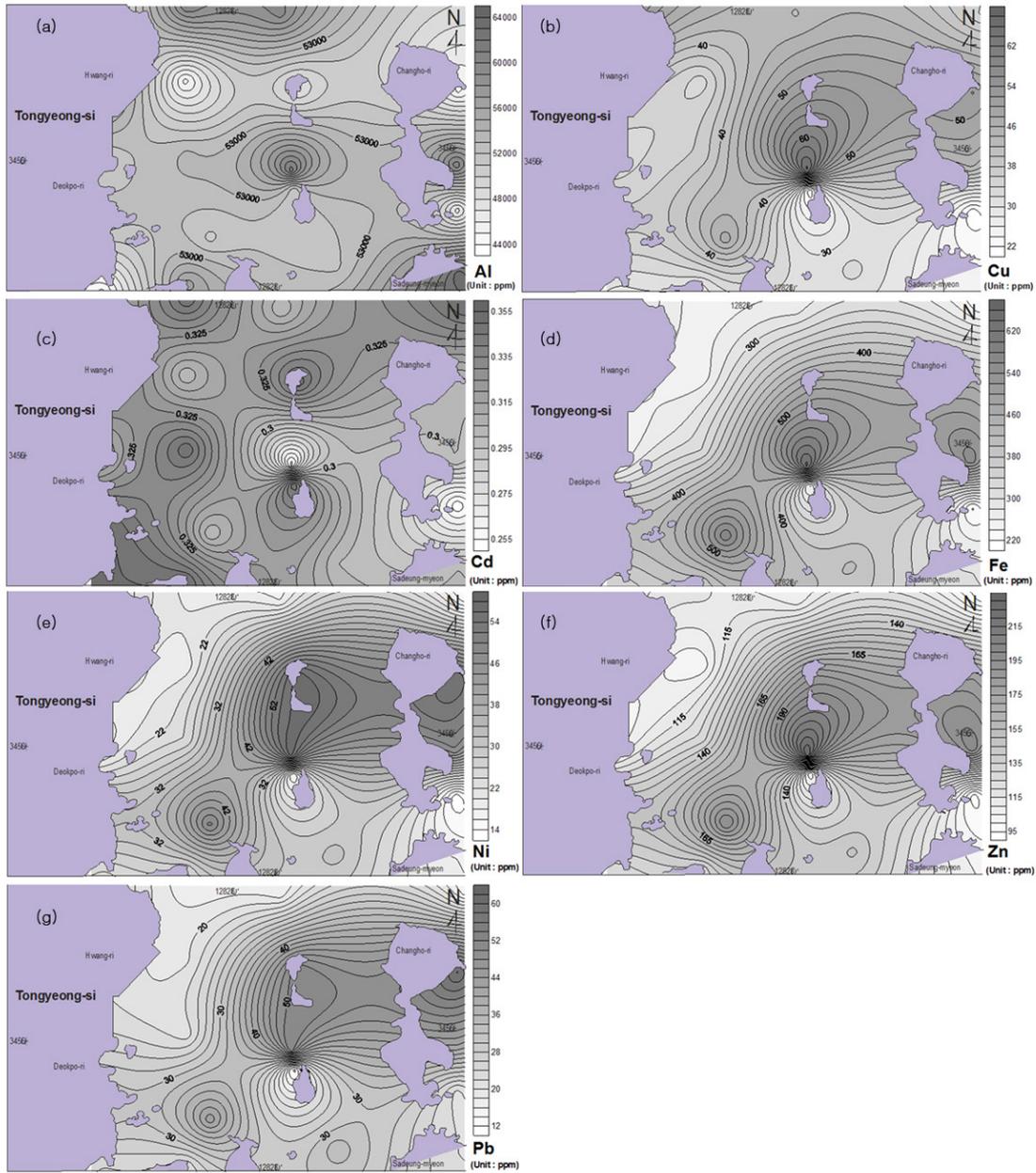


Fig. 3. Spatial distribution of heavy metals in oyster cultural bed of Anjung Bay: (a) Al, (b) Cu, (c) Cd, (d) Fe, (e) Ni, (f) Zn, and (g) Pb, respectively.

의 ERL을 상회하는 곳은 조사정점 7, 8, 11이었다.

3. 중금속의 부화지수

부화지수는 점토광물의 구성비율을 고려하여 중금속의 함량을 보정하는 방법으로 (Zollar *et al.*, 1974), 점토광물은 비표면적이 상대적으로 넓고 영구적인 음전하를 띠어, 중금속과 같은 양이온을 흡착하는 능력이 뛰어나므로, 퇴적물중 점토광물의 구성비율이 증가하면 중금속의 함량이 상대적으로 많아지

게 되므로, 점토광물에 대한 상대적인 비율로 나누어 중금속함량을 보정하여 오염정도를 판단하는 것을 칭한다 (Jung *et al.*, 2007). 그러나 점토광물의 구성비율을 직접적으로 구하는 방법이 없어 간접적으로 점토광물을 대표할 수 있는 보존성 원소로 Al 또는 Fe의 함량으로 나누어 보정하는 것이 일반적이다.

이 연구에서는 퇴적물중의 철의 평균함량을 기준으로 부화지수를 조사한 결과, 각 금속종별 평균 EF는 0.06-1.12의 범

Table 2. NOAA's sediment quality guideline values for ERL and ERM of trace metals (ppm, dry wt.). ERL = Effects Rang-Low; ERM = Effects Range-Median

Elements	Guidelines	
	ERL	ERM
Arsenic	8.2	70
Cadmium	1.2	9.6
Chromium	81	370
Copper	34	270
Lead	46.7	218
Mercury	0.15	0.71
Nickel	20.9	51.6
Silver	1.0	3.7
Zinc	150	410

Table 3. Calculated enrichment factor (EF) for total heavy metal ions in the sediments of Anjung Bay

	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
Mean	1.12	1.05	0.96	0.99	1.02
Std.	0.37	0.32	0.21	0.26	0.09
Min	0.43	0.71	0.71	0.52	0.90
Max	1.74	1.71	1.49	1.64	1.25

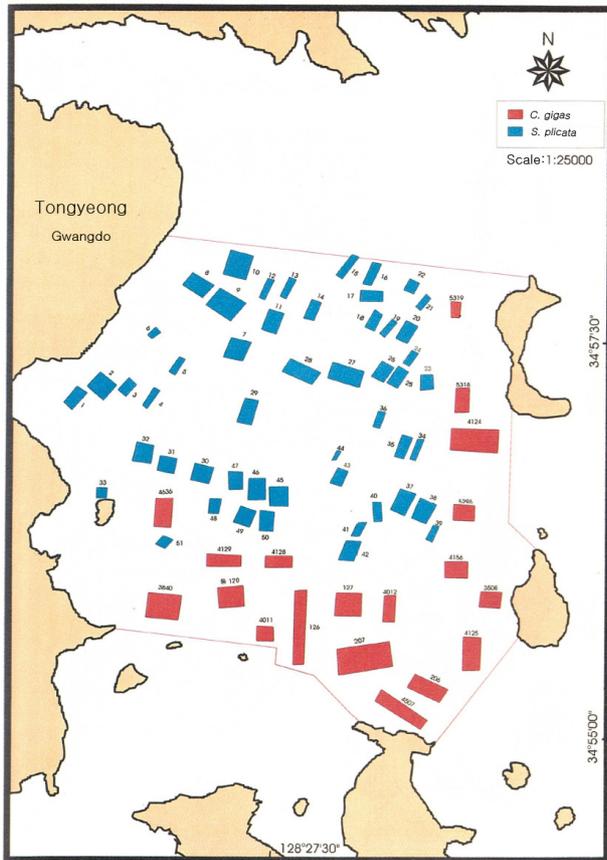


Fig. 4. Maps of cultural farms for Oyster, *Crassostrea gigas* and Ascidian *Styela plicata* in the studied waters.

위였고 (Table 3), 이는 Na *et al.* (2012) 가 보고한 우리나라 연안항만의 표층저질로부터 측정하였던 중금속의 EF에 비해서는 확연하게 낮았다. EF의 값이 1에 가까울수록 오염이 되지 않은 자연적인 농도임을 의미하고, 1 보다 클 경우에는 외부로부터 유입되어 퇴적물에 농축되어 있음을 의미한다. 조사해역의 중금속 중별 EF는 1.0에 근사치로 외부로부터 중금속 오염의 유입은 크지 않은 것으로 판단되지만, 2000년대 후반 건립된 안정공단과 인근지역의 각종 조선소 건립 및 해역환경 변화에 따른 퇴적환경의 변화는 이 해역의 퇴적환경 변화에 주목할 필요성을 대변하고 있다.

안정만 표층퇴적물의 6개 원소별 EF는 $Cd > Cu > Zn > Pb > Ni$ 의 순이었다. 이러한 중별 국내 연안의 항만 등과 같이 비교적 오염이 진행된 해역의 오염종의 순서 ($Cu > Cd > Zn > Pb > Ni$)와 큰 차이가 없는 것은 (Ra, 2012) 이 해역의 중금속 오염원은 여타 항만과 같이 선박에 의한 유입원이 주가 되기 때문인 것으로 판단된다. Kim (2013) 은 국내 조선소 주변해역의 퇴적물의 중금속 오염도를 조사한 결과, Cu와 Zn이 ERL을 초과하는 것으로 보고하였다. 안정 해역은 주변공단에서 LNG 가스선 및 신조선 등의 왕래가 잦기 때문에 구리와 아연에 대한 오염 위험이 높은 것으로 판단된다.

요 약

굴양식이 시행하는 안정만 해역은 인근 연안에 LNG비축기지, 조선소 등의 공단이 가동되고 있어 일부 양식장은 품종을 전환하고 있다. 이 연구는 안정만 해역의 연안생태계에 영향을

미치는 저질환경 특성을 조사하기 위하여 2009년부터 2010년까지 2회에 걸쳐 20개 정점의 표층퇴적물을 채집, 분석하였다.

안정만 해역의 표층퇴적물의 IL은 6.41-11.68% (평균 9.52 ± 1.28%) 의 범위였고, COD는 17.99-43.84 mg/g (평균 27.53 ± 6.39 mg/g), 그리고 AVS는 0.05-0.61 mg/g (평균 0.17 ± 0.14 mg/g) 의 범위였다. 유기물함량은 저질의 수분함량과 밀접한 상관관계가 있었고, 이는 양식품종의 분포 패턴과도 관계가 있어 환형계로 양식품종이 변화된 북부해역의 COD가 비교적 높게 나타났다.

일부 조사정점을 제외하고 대부분의 중금속함량은 NOAA의 ERL 기준치 이하였고, 중금속 부화지수는 0.96-1.12의 범위로 중금속 오염에서는 비교적 청정한 것으로 판단되지만, 증가하는 선박 통행량을 고려할 때, 지속적인 저질환경 모니터링이 요구된다.

감사의 말씀

이 연구는 2011년도 경상대학교 연구년제 연구교수 과제이며, 경상대학교 해양생물교육연구센터에서 수행되었음.

REFERENCES

- Buchman, M.F. (2008) NOAA Quick Screening Reference Tables. NOAA OR&R Report 08-1 Seattle WA, Office of Response and Restoration Division, National Atmospheric and Oceanic Administration: 34p.
- Cho, C.H., Kim, Y.S., Youm, M.G., Choi, J.D., Jeong, W.G. and Choi, W.J. (1996) Evaluation of environmental capacity for shellfish farms in Puk Bay. Gyeongsangnam-do, College of Fisheries GSNU, Tongyeong, 309 pp.
- Cho, Y.G., Lee, C.B., and Choi, M.S. (1994) Characteristics of heavy metal distribution in surface sediments from the South sea of Korea. *The Sea*, **29**(4): 338-356.
- Cho, Y.S., Lee, W.C., Kim, J.B., Hong, S.J., Kim, H.C., and Kim, C.S. (2013) Establishment of environmental assessment using sediment total organic carbon and macrobenthic polychaete community in shellfish farms. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, **19**(5): 430-438.
- Choi, M., Kim, H.C., Hwang, D.W., Lee, I.S., Kim, Y.S., Kim, Y.J., and Choi, H.G. (2013) Organic enrichment and pollution in surface sediments from shellfish farming in Yeoja Bay and Gangjin Bay, Korea. *Fisheries and Aquatic Science*, **46**(4): 424-436.
- Hong, S.H., Shim, W.J., Lee, S.H., Lee, I.S. (2001). Distribution of organotin compounds in sediments, seawater and oysters (*Crassostrea gigas*) in Okpo Bay. *Korean Journal of Ecology*, **24**(1): 19-26.
- Jeong, W.G., and Cho, S.M. (2003) The physicochemical characteristics of seawater and sediment of marine shellfish farm in Jindong Bay. *Korean Journal of Malacology*, **19**(2): 161-169.
- Jung C.H., Park, H.J., Chung, I.H., and Na, C.K. (2007). Pollution property of heavy metal in Goseong Cu mine Area, Kyungsangnam-do, Korea. *Economic and Environmental Geology*, **40**(4): 347-360.
- Kahang, S.H., Je, J.G., Oh, J.R., Shim, W.J., Shim, J.H. (1996) Imposax of *Thais clavigera* and *T. luteostoma* (Muricidae) as an Evidence of Organotin pollution in Chinhae Bay. *Korean Journal of Malacology*, **12**(2): 123-131.
- 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 Journal of Malacology*, **28**(3): 233-244.
- Kim, D.H., Kim, I.G., Um, H.H. (2011) Contents of trace metals in sediment of shipbuilding and steel industrial sea area. *Proceedings of KOSOMES biannual meeting 2011*, **11**: 263-266.
- Kim, K.S. (2013) The current state of pollution of heavy metals in offshore sediments around shipyards of Korea. *Proceedings of KOSOMES biannual meeting 2013*. **11**: 329-331.
- Kim, P.J., Shon, S.G., Park, S.Y., Kim, S.S., Jang, S.J., Jeon, S.B., and Ju, J.S. (2012) Biogeochemistry of Metal and Nonmetal elements in the Surface Sediment of the Gamak Bay. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, **18**(2): 67-83.
- Kim, Y.S., and Moon, T.S. (1998) Filtering rate with effect of water temperature and size of two farming ascidians *Styela clava* and *S. plicata*, and a farming mussel *Mytilus edulis*. *Journal of Korean Fisheries Society*, **31**(2): 272-277.
- Lee, J.I., Park, S.H., Kim, M.S., Oh, Y.H., Yu, I.S., Choi, B.H., Lee, G.C., Kim, M.S., Jang, S.Y., and Lee, C.H. (2009) Surveillance of Acute Gastroenteritis in Seoul, Korea, During May 2004 and June 2007. *Journal of Bacteriology and Virology*, **39**(4): 363-371.
- Luoma, S.N. (1990) Processes affecting metal concentrations in estuarines and coastal marine sediments. *In: Heavy Metals in the Marine Environment* (ed. by Furness R.W. and Rainbow, P.S.). pp. 51- 66. CRC Press, Boca Raton.
- Martin, J.M. and Meybeck, M. (1979) Elemental mass-balance of material carried by major world rivers. *Marine Chemistry*, **7**:173-206.
- Ministry of Land, Transport and Marine Affairs (2010) Standard methods of marine environment in Korea. Seoul, 461pp.
- Park, J.H., Moon, T.S., Kim, Y.S., Kang, S.J., Park, A.J., Choi, H.S., Kim, P.K., Choi, W.J., Park, Y.C., Na, G.H., Yoo, H.D., Cha, J.G., Yang, M.J., Ha, I.G., and Park, H.S. (1997) Studies on the development of aquaculture technology for ascidians, *Styela clava* Herdman. NFRDI, Kwachon, 198 pp.

- Ra, K., Kim, E.S., Kim, K.T., Kim, J.K., and Lee, J.M. (2012) Assesment of heavy metal contamination in the surface sediments along the coast of Korea. *Proceeding for The Korean Society for Marine Environment Engineering* :301-308.
- Simmons, G., Garbutt, C., Hewitt, J., and Greening, G. (2007) A New Zealand outbreak of norovirus gastroenteritis linked to the consumption of imported raw Korean oysters. *The Newzealand Medical Journal*, **120**: U2773.
- Webby, R.J., Carville, K.S., Kirk, M.D., Greening, G., Ratcliff, R.M., Crerar, S.K., Dempsey, K., Sarna, M., Stafford, R., Patel, M., and Hall, G. (2007) Internationally distributed frozen oyster meat causing multiple outbreaks of norovirus infection in Australia. *Clinical Infectious Diseases*, **44**:1026-1031.