Article

https://doi.org/10.7850/jkso.2019.24.1.054
pISSN : 1226-2978

한반도 서·남해 주요 갯벌 퇴적물의 시·공간적 변화: 입도, 유기물, 중금속

김은영[1] · 류상옥[1*] · 최대업[1] · 이재환[1] · 오하늘[1] · 오선관[1] · 고병설[2] · 김영남[2] · 여정원[2]
[1]연안관리기술연구소, [2]해양환경공단

Spatial and Temporal Changes in Sediments of Major Tidal Flats in the Western and Southern Korean Coasts: Grain Size, Organic Matter, Trace Metals

EUNYOUNG KIM[1], SANG-OK RYU[1*], DAE-UP CHOI[1], JAE-HWAN LEE[1], HA-NEUL OH[1], SUN-KWAN OH[1], BYUNG-SEOL KHO[2], YOUNG NAM KIM[2] AND JEONG WON YEO[2]
[1]Institute of Coastal Management & Technology, Muan 58552, Korea
[2]Korea Marine Environment Management Corporation, Seoul 05718, Korea

***Corresponding author:** soryu@mokpo.ac.kr

Editor Gyung Soo Park
Received 8 January 2019; **Revised** 31 January 2019; **Accepted** 13 February 2019

ABSTRACT

국가해양생태계종합조사의 일환으로 2015년부터 2017년까지 3년간 강화남단, 가로림만, 증도, 순천만 등 한반도 4개 대표 갯벌에서 시계열 변화에 따른 퇴적환경 및 유·무기 오염현황을 조사하였다. 조사시기 및 지역별 퇴적물의 평균입도는 강화남단 5.0-5.3∅, 가로림만 4.5-4.8∅, 증도 6.1-6.5∅, 순천만 8.6-8.7∅이었다. 전반적으로 강화남단에서 순천만으로 남하함에 따라 입도가 조립해지는 경향을 나타내었고, 순천만에서 가장 세립한 경향을 보였다. 조사시기별로 강화남단과 증도의 경우 2015년보다 2017년에 평균입도가 보다 세립화되는 경향을 나타내었다. 강열감량은 2015년 순천만에서 15.5%로 다른 지역에 비해 상대적으로 높았으나 2016년 8.3%, 2017년 7.0%로 시간의 경과에 따라 점차 감소되었다. 미량금속 농도는 증도와 순천만의 일부정점에서 Zn와 As가 주의기준(TEL)을 초과하였으나 기타 금속의 경우 오염농도 이하의 범위로 분석되어 오염의 개연성이 나타나지 않았다. 연구지역내 퇴적물중 평균입도와 미량금속 농도 사이의 관계를 살펴본 결과, 증도의 경우 수은을 제외한 모든 미량금속과 강열감량이 평균입도와 정의 상관성(r=0.40-0.88, $P < 0.05$)을 보였다. 반면 순천만의 경우, 입도와 미량금속은 유의한 상관성이 없는 것으로 파악되었으며, 강열감량과 미량금속 간에 음의 상관성($p < 0.05$)을 나타내었다. 퇴적물의 미량금속 오염을 평가하기 위하여 농집지수 I_{geo}를 계산한 결과, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg에 대해서는 1보다 작은 범위로 오염되지 않았고, As의 경우 순천만과 증도의 일부정점에서 약간 오염된 수준에 해당되었다.

As a part of the national marine ecosystem monitoring program, the temporal and spatial variation of sedimentary environment and pollution of organic matters and trace metals from four major tidal flats, i.e., Ganghwa Is., Garolim bay, Jeung Is., Suncheon bay, was investigated for 3 yerars from 2015 to 2017. The mean grain size of the sediment was 5.0-5.3∅ at Ganghwa Is, 4.5-4.8∅ at Garolim bay, 6.1-6.5∅ at Jeung Is, and 8.6-8.7∅ at Suncheon bay. The mean grain size (Mz) tended to decrease from the north (Ganghwa Is.) to the south (Suncheon bay). The ignition loss (IL) was 15.5% in Suncheon bay in 2015, which was relatively high compared to other sites, but gradually decreased over time from 8.3% in 2016 to 7.0% in 2017. In Jeung Is. and Suncheon bay, the concentration of Zn and As exceeded the threshold effect level (TEL) at some stations, but the range of trace metals in the other sites was below the level. In Jeung Is., the Mz and concentration of trace metals except Hg was positively correlated (r= 0.40-0.88, $P < 0.05$). On the other hand, Mz was negatively correlated with trace metals ($P < 0.05$) in Suncheon bay. The geoaccumulation index (I_{geo}) to evaluate contamination status of sediments for trace metal was less than 1(not contaminated) for Cu, Zn, Pb, Cd and Hg, and 2-3 (moderately to strongly polluted) for As at several stations in Suncheon bay and Jeung Is.

Keywords: National marine ecosystem monitoring program, Ganghwa Is., Garolim bay, Jeung Is., Suncheon bay, surface sediment, grain size, organic matter, trace metals

Copyright © 2019 Journal of the Korean Society of Oceanography.

1. 서 론

퇴적물은 갯벌을 구성하는 가장 기본적인 요소일 뿐만 아니라 해당지역의 물리적 특성을 반영하고 환경을 이해하는데 중요한 요소이다. 또한 퇴적물은 오염물의 저장소 및 다양한 생물의 서식지 역할을 하고 있기 때문에 상호연관성을 가지는 물리, 화학적 그리고 생물학적 인자의 시공간적 변화양상을 파악하는 것은 해양환경과 생태계 건강을 해석하고 예측하는데 매우 중요하다.

해양생태계의 현황과 변화를 파악하고, 해양생태계의 종합적, 체계적 보전, 관리를 위해 1999년부터 갯벌을 연안습지로 지정(습지보전법)하여 갯벌현황 조사를 5년마다 시행하였다. 습지보전법에 따라 1999년부터 2003년까지 전국 갯벌을 대상으로 본격적인 조사가 추진되었으며, 이후 습지보호구역 지정을 목표로 2008년부터 2012년까지 선정된 지역에 대한 정밀조사가 수행되었다. 그러나 해양생태계의 급격한 변화에 선제적으로 대응하여 생태계를 보전하기 위해서는 동일 지점과 시점에서 지속적인 시계열자료 축적을 통한 분석과 진단이 필요하다. 이에 따라 2015년부터는“국가해양생태계종합조사”로 전환되어 서·남해 및 동해의 전 갯벌을 2년에 한 번씩 자료를 축적하여 시계열변화를 파악해 오고 있다. 특히, 핵심공간조사는 우리나라 서·남해 갯벌을 대표할 수 있는 경기-인천지역의 강화남단, 충남의 가로림만, 전남의 증도와 순천만 등 4개 지역을 대상으로 2015년부터 매년 퇴적환경, 유기물 및 미량금속 오염정도, 염생식물, 대형저서생물 등에 대한 조사하고 있다.

그동안 국내 갯벌 조사는 조사정점의 지속성과 현장접근의 어려움, 지역의 광범위성 등 여러 가지 요인들에 의해 특정지역과 시점에 국한되어 퇴적물의 퇴적학적 특성(Choi *et al*. 2011; Lee *et al*. 2004; Ryu *et al*. 1999; Shin *et al*., 1998), 미량금속 및 유기물 오염평가(Cho *et al*., 1999; Cho *et al*., 2015; Hwang *et al*., 2010; Hwang *et al*., 2013; Jang and Cheong 2010)에 관한 연구가 주로 이루어졌다. 최근 들어 한반도 갯벌의 퇴적환경(Baek *et al*., 2016) 및 미량금속의 오염분포(Hwang *et al*., 2016)에 관한 시계열 변화에 대해서 일부 보고된 바 있으나 우리나라 갯벌의 퇴적학적 특성과 오염현황 등에 관한 종합적 연구가 미비하다.

본 연구는 우리나라 서·남해 갯벌을 대표할 수 있는 강화남단, 가로림만, 증도, 순천만 등 4개 갯벌에서 퇴적물의 입도분포, 유기물 및 미량금속을 통해 표층퇴적물의 시·공간적 변화양상과 오염현황을 파악하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구지역

연구지역은 Fig. 1에 도시한 바와 같이 강화남단, 가로림만, 증도, 순천만 갯벌에 대해서 각 지역별로 4~5개의 측선을 설정하고 각 측선별로 조위에 따라 상부, 중부, 하부 3개의 정점을 설정하여 2015년(48개 정점), 2016년과 2017년(60개 정점) 정점에 대해서 여름(6~8월)동안 총 3회 조사를 수행하였다.

2.2 시료의 채취 및 분석

시료채취위치는 RTK GPS (Trimble GeoXR)를 사용하여 측량하였으며 표층퇴적물은 간조시 걸어 다니면서 직접 채취하였다. 퇴적물 입도는 표준입도분석방법(Ingram, 1971)에 의거하였고, 유기물(강열감량, 산휘발성황화물) 및 미량금속(Cu, Zn, Pb, Cd, Hg)은 해양환경공정시험법(MOF, 2013a), As는 완전분해법에 따라 전처리 후 분석을 수행하였다.

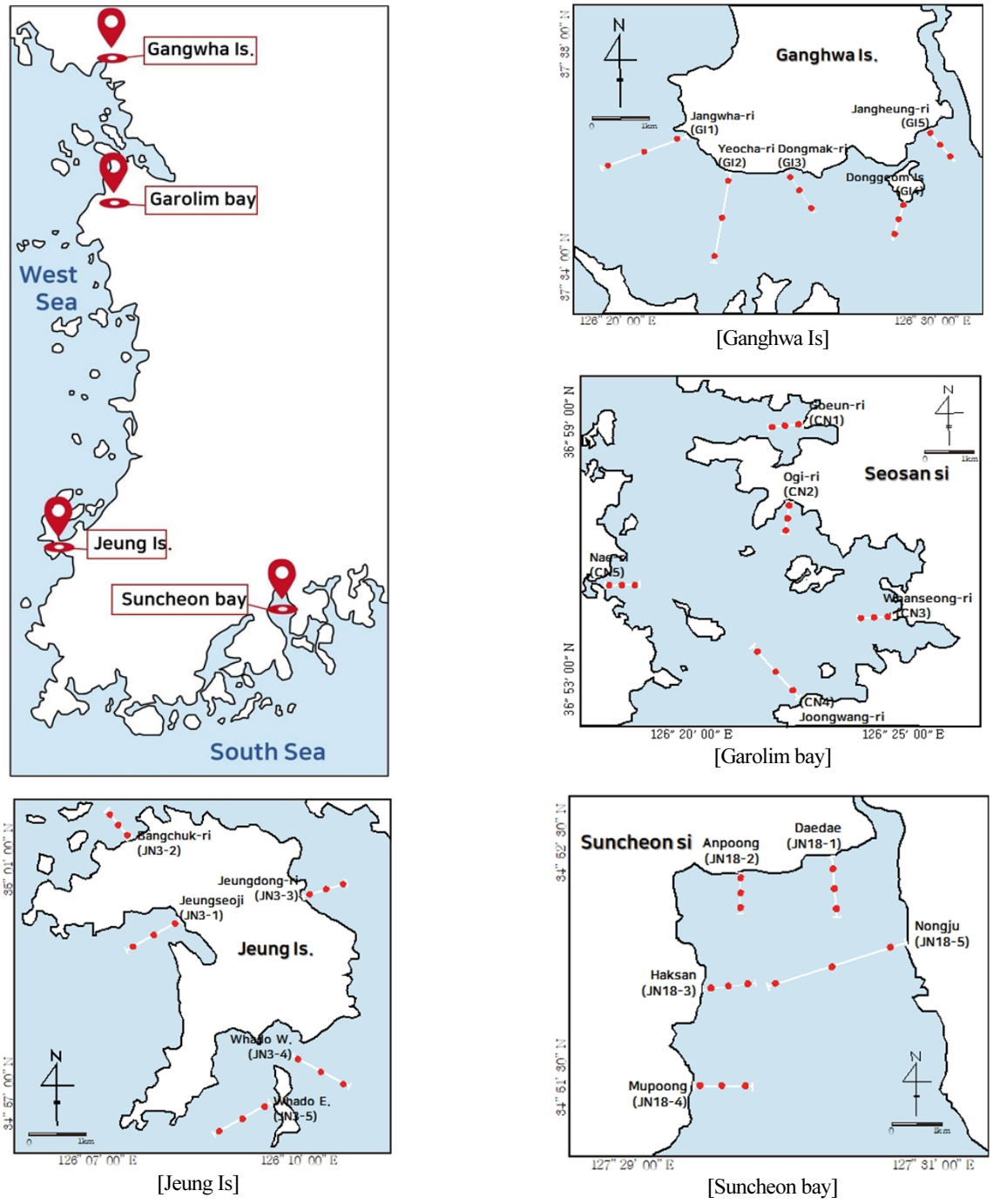

Fig. 1. Study area and sampling sites

2.3 유기물 및 미량금속의 오염평가

먼저 유기물과 미량금속의 해양퇴적물 환경기준을 이용한 유기물의 경우 연구지역 내 퇴적물중 유기물 함량 특성을 나타내는 지표중 산휘발성황화물(AVS)농도를 일본의 퇴적물 오염기준과 비교하였으며, 미량금속의 경우는 우리나라 해양수산부(MOF, 2013b)에서 제시한 미량금속 오염기준인 주의기준(threshold effects level, TEL)과 관리기준(probable effects level, PEL)을 비교하였다. 기준에 명시된 원소 중 As, Cd, Hg, Pb는 퇴적물에서 측정된 농도를 직접 비교하여 평가하였고,

Cu와 Zn은 Li을 이용해 입도의 영향을 보정하여 국내 환경기준과 비교하여 오염현황을 분석하였다.

퇴적물 내 미량금속의 인위적인 오염에 대해 평가하기 위해 농집지수(geoaccumulation index, I_{geo}) (Müller, 1969)를 계산하여 금속원소의 오염정도를 파악하였고, I_{geo}계산식은 아래와 같다.

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{B_n \times 1.5} \quad (1)$$

여기서 Cn은 연구지역의 퇴적물 내 금속원소의 농도, B_n은 금속원소의 자연적인 배경농도로 일반적으로 지각 중의 금속원소의 평균농도(Taylor, 1964; Taylor and McLennan 1995)가 널리 사용되고 있다.

2.4 통계분석

조사항목들 간의 상관성은 피어슨 상관계수(pearson correlation coefficient)로 계산하였고 통계적 유의수준은 유의계수 P value < 0.05으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 표층 퇴적상 및 입도변화

퇴적상은 자갈, 모래, 실트, 점토 퇴적물의 상대적인 함량비에 따라 분류되는 것으로 Folk(1968)의 삼각다이아그램을 이용하여 퇴적상을 구분하여 Table 1에 나타내었다. 퇴적상은 강화남단(Ganghwa Is)이 총 5개, 가로림만(Garolim bay)이 총 8개, 증도(Jeung Is)는 총 8개, 순천만(Suncheon bay)은 니상(M)이 대부분을 차지하였고, 약역질니((g)M)가 2016년 1개 정점에서 관찰되어 다른 지역들에 비해 매우 단순한 퇴적상을 나타내었다. 조사한 4개 지역에서 가장 우세한 퇴적상은 총 44개와 38개 정점에서 발견된 M와 Z상으로 관찰되어 세립한 경향을 나타내었다.

Table 1. Sedimentary type of surface sediment in four major tidal flats of Korea

Area	Year	gS	gms	(g)mS	gM	(g)M	(g)S	S	zS	sZ	Z	M	No. of Type
Ganghwa Is.	2015					2		1		4	5		4
	2016					3		1		4	7		4
	2017			1		4		1		3	6		5
Garolim bay	2015	1			1	4			2	3	1		6
	2016		1	1		6			2	5			5
	2017		2			7			3	3			4
Jeung Is.	2015			2		1	1	1	1	1	5		7
	2016			1		1	1	2		2	7	1	7
	2017			2			1	1	2		7	2	6
Suncheon bay	2015											12	1
	2016					1						14	2
	2017											15	1
Sum		1	3	8	1	29	3	7	10	25	38	44	

2015년부터 2017년까지 퇴적물 평균입도의 시간적 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 강화남단의 평균입도는 2015년 5.0±0.5 ∅, 2016년 5.1±0.3 ∅, 2017년 5.3±0.5 ∅로 시간의 경과에 따라 지속적으로 증가하여 세립화되는 경향을 나타내었다. 가로림만의 평균입도는 2015년 4.8±0.5 ∅, 2016년 4.6±0.5 ∅, 2017년 4.5±0.4 ∅로 조립화되거나 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 증도의 평균입도는 최소 3.1 ∅에서 최대 7.1 ∅까지 다양한 입도 범위를 나타내고 있으며, 2015년 6.1±1.9 ∅, 2016년 6.2±1.9 ∅, 2017년 6.5±1.6 ∅로 다소 세립화되는 경향을 보였다. 순천만은 2015년 8.6±0.1 ∅, 2016년 8.5±0.2 ∅, 2017년 8.5±0.2 ∅로 입도변화가 거의 없었고, 4개 지역 중 가장 세립화된 입도특성을 보였다.

퇴적상과 평균입도 결과를 종합해보면 연구지역내 퇴적물은 전반적으로 강화남단에서 가로림만, 증도, 순천만으로 남하할수록 평균입도가 세립화되는 경향을 나타내었다. 특히, 순천만의 경우 대부분 머드(M) 상으로 관찰되어 4개 지역 중 퇴적상이 가장 단순하였고, 8.5-8.6 ∅의 평균입도를 나타내어 가장 세립하였다.

3.2 유기물 함량 및 오염도 평가

퇴적물 중 유기물 함량과 이들의 오염도를 시간의 변화에 따라 살펴보기 위해 강열감량(IL)과 산휘발성황화물(AVS) 농도를 조사하였다.

Fig. 3은 2015년부터 2017년까지 강열감량과 입도와의 상관성을 나타낸 그림이다. 그림에서 8.5 ∅를 기준으로 양분되는 경향을 나타내고 있으며, 8.5 ∅보다 작은 평균입도 즉, 보다 조립질 입자에서는 강열감량이 5% 미만으로 입도와 선형성을 보여주고 있으며, 순천만을 제외한 강화남단, 가로림만, 증도의 경우가 해당된다. 반면, 8.5 ∅보다 큰 평균입도(보다 세립질)를 가진 순천만의 경우 대부분의 정점에서 5%를 상회하여 다른 지역에 비해서 상대적으로 높았으나, 2015년 15.5%, 2016년 8.3%, 2017년 7.0%로 시간의 경과에 따라 점차 감소되었다.

한편, AVS는 퇴적물의 유기물 오염 및 건강도를 평가하는 기준으로 널리 이용되어 왔으며(Hwang *et al*., 2013), 저서생물

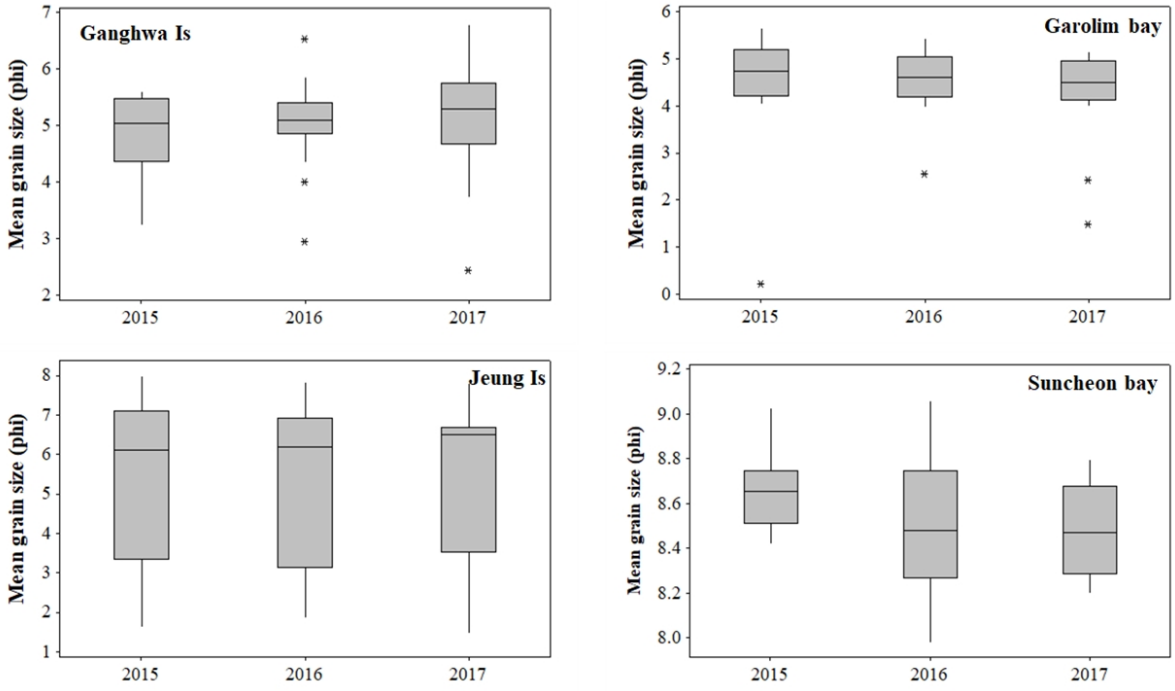

Fig. 2. Temporal variation in mean grain size of surface sediment from 2015 to 2017.

의 정상적인 활동에 제한을 가져오는 기준값으로 일본에서는 퇴적물중 AVS 농도를 0.2 mgS/g·dry로 제시하고 있다(Hwang *et al*., 2010; Yokoyama, 2000). 이 기준을 적용하여 연구지역의 유기물 오염도를 평가한 결과(Fig. 4), 2016년 증도와 순천만, 2017년 순천만의 일부 정점에서 오염기준을 초과한 것으로 나타났다. 증도의 경우 2016년 2개 정점에서 0.3 mgS/g·dry 이상으로 높은 값을 나타내었으나, 2017년에 다시 감소하여 오염되지 않은 결과를 나타내어 AVS농도의 증가는 일시적이고 국지적인 현상으로 생각된다. 순천만의 경우 무풍리(JN18-4)는 2016년부터 정점이 추가되어 조사가 수행되고 있으며, 무풍리 조간대 중부에서 2016년 0.30 mgS/g·dry, 2017년 0.39 mgS/g·dry로 2년 연속 오염기준을 초과하여 지속적인 관찰 및 관리가 필요할 것으로 생각된다.

3.3 퇴적물의 금속원소 함량 및 오염도 평가

퇴적물 중 미량금속은 저서생태계에 영향을 미칠 수 있을 뿐만 아니라 물리·화학적 환경변화에 의해 수층으로 이동하여 잠재적 오염원으로 작용할 수 있다. 이를 파악하기 위해 연구지역의 표층퇴적물의 각 정점별 미량금속 농도분포를 입도변화에

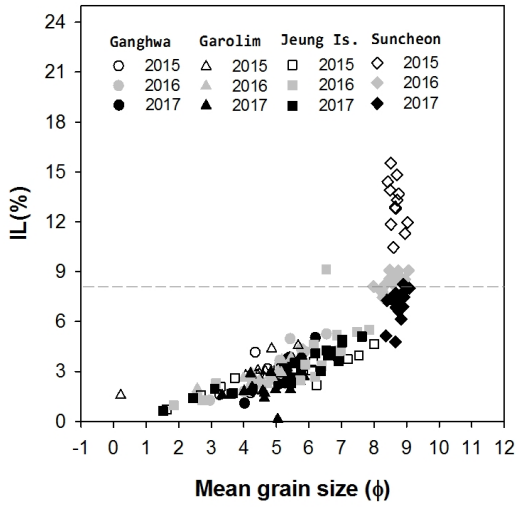

Fig. 3. Temporal variation of ignition loss (IL) in surface sediment from 2015 to 2017

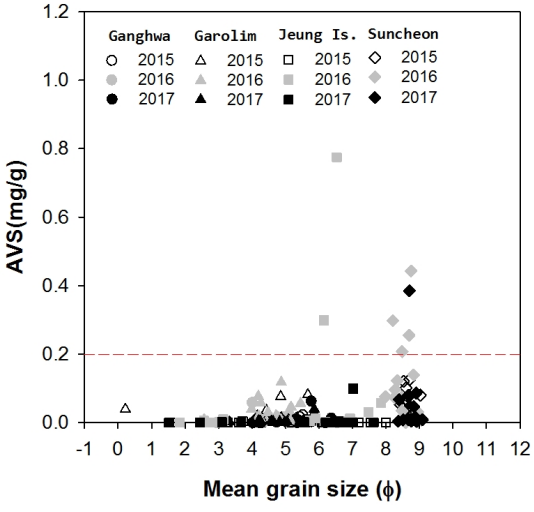

Fig. 4. Temporal variation of acid volatile sulfide (AVS) of surface sediment from 2015 to 2017.

따라 Fig. 5에 도시하였다. 기준에 명시된 원소 중 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 수은(Hg)은 퇴적물에서 측정된 농도를 직접 비교하여 평가하였고, 구리(Cu)와 아연(Zn)은 리튬(Li)을 이용해 입도의 영향을 보정하여 국내 환경기준(MOF, 2013b)과 비교하였다. 우리나라의 해저퇴적물에 대한 환경기준은 해양수산부에서 제시한 주의기준(threshold effects level, TEL)과

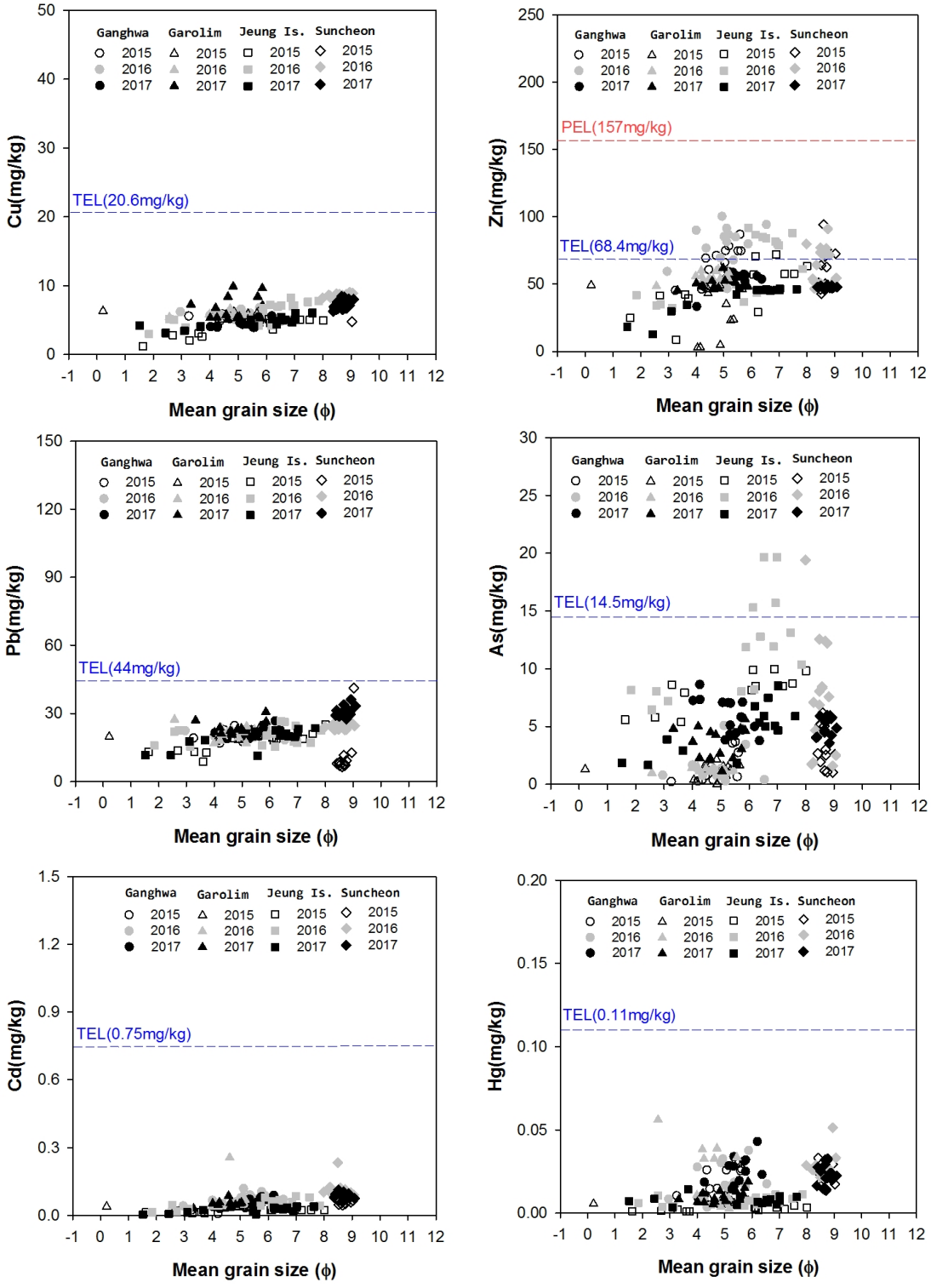

Fig. 5. Temporal and spatial variation of trace metals (Cu, Zn, Pb, As, Cd, Hg) of surface sediment in the tidal flat of Korea

관리기준(probable effects level, PEL)이 있으며, TEL미만의 미량금속 농도는 부정적인 생태영향이 일부 발현될 개연성이 있는 농도이며, PEL을 초과하는 농도는 부정적인 생태영향이 발현될 개연성이 매우 높은 농도를 나타낸다(MOF, 2013b). Fig. 5에서 Zn과 As를 제외한 Cu, Pb, Cd, Hg의 경우 전 지역에서 3년 연속 TEL이하의 농도로 오염의 개연성이 없음을 나타내었다. Zn와 As의 경우 2016년에 TEL을 초과하는 정점들이 일부 존재하였으나 동일지점에서 2017년 분석결과 TEL이하의 농도로 감소되어 자연정화되는 경향을 보였다.

한편, 연구지역내 퇴적물중 미량금속 농도를 서·남해안의 다른 조간대 퇴적물에서 조사된 결과와 비교하였을 때(Table 2) 조사지역 인근 조간대 퇴적물의 미량금속 농도와 거의 유사한 경향을 나타내었다.

또한, Fig. 5에서 As와 Zn의 오염 개연성이 나타났던 증도와 순천만 갯벌을 대상으로 표층퇴적물중 평균입도, 유기물 및 미량금속 농도 사이의 유의성을 살펴보았다. 증도의 경우 수은을 제외한 모든 미량금속과 강열감량이 평균입도와 정의 상관성(r=0.40-0.88, $P < 0.05$)을 보였다. 반면 평균입도의 범위가 8.5-8.6∅로 매우 좁고 세립질퇴적물로 구성된 순천만의 경우, 입도와 미량금속은 유의한 상관성이 없는 것으로 파악되었으며, 강열감량과 미량금속 간에 음의 상관성($p < 0.05$)을 나타내었다.

퇴적물의 미량금속 오염을 평가하기 위하여 농집지수 I_{geo}를 계산한 결과(Table 3), Cu, Zn, Pb, Cd, Hg에 대해서는 농집지수값이 1보다 작아 오염되지 않은 수준으로 분석되었다. 다만, As의 경우 총 16개 정점에서 농축계수가 적당한 오염상태(Moderately/strongly polluted)인 3등급에 해당되어 다소 오염된 상태를 나타내었다. 이는 Table 2에 제시된 As에 대한 우리나라 지각의 배경농도 값이 농집지수에 적용된 전세계 지각의 평균농도 1.5 mg/kg(Taylor, 1964; Taylor and McLennan 1995)보다 상대적으로 높은 경향에 기인한 것으로 생각된다. 또한, 일부는 농사를 위해 사용된 살충제, 제초제 등이 하천 및 지하수 등으로 유입되어 퇴적물에 축적된 인위적 요인과 복합적으로 작용된 것으로 생각된다.

4. 결 론

강화남단, 가로림만, 증도, 순천만 등 한반도 서·남해를 대표하는 4개 갯벌에 대해 2015년부터 2017년까지 3년간 각 지역별 입도와 유기물, 중금속 등의 분석을 통해 표층퇴적물의 시·공간적 변화양상을 조사하였다.

조사시기 및 지역별 퇴적물의 평균입도는 강화남단 5.0-5.3∅, 가로림만 4.5-4.8∅, 증도 6.1-6.5∅, 순천만 8.6-8.7∅이었

Table 2. Comparison of characteristics of sediments in various tidal flats of Korea

Region	Mz(∅)	IL(%)	AVS (mg/g)	trace metals (mg/kg)						References
				Cu	Zn	Pb	Cd	As	Hg	
Background value (continental shelf)	-	-	-	25	71	20	0.098	1.5	0.08	Taylor and McLennan 1995; Taylor 1964
Korean coast	-	-	-	5-92 (37)	26-233 (122)	21-56 (35)	0.07-1.02 (0.25)	5.0-14.9 (9.1)	0.01-0.14 (0.05)	Ra *et al*. 2013
Korean coast	0.2-9.1 (5.9)	0.10-20.0 (4.7)	ND-0.80 (0.04)	0.4-23.8 (11.7)	2.8-113.7 (85.8)	6.4-41.2 (21.0)	0.01-0.30 (0.06)	0.2-19.7 (4.7)	ND-0.06 (0.02)	This study
Younggwang-Muan	5.5	2.9	ND	9.8	70	25	0.05	5.6	0.01	Hwang *et al*. 2010
Hampyeong bay	*3.2~7.9	4.5	ND-0.15	12	45	20	-	-	-	Hwang and Koh 2012; *Youn *et al*. 1999
Sinan		2.8	-	15	90	34	0.08	7.0	0.01	
Garolim bay		0.9	-	7	34	22	0.04	7.0	0.01	Hwang *et al*. 2016
Incheon	-	1.1-3.9	-	10-15	57-71	27-38	0.06-0.08	5.6-7.0	0.02-0.04	
Yeoja bay	-	8.9	0.02-0.10	-	-	-	-	-	-	Hue *et al*. 2000
	-	4.6	-	17	117	36	0.14	6.7	0.02	Hwang *et al*. 2016

Table 3. Sediment qualities of major tidal flats classified by geoaccumulation index(I_{geo})

I_{geo}	I_{geo} class	Designation of sediment quality	Number of I_{geo}					
			Cu	Zn	Pb	Cd	As	Hg
>5	6	Extremely polluted	0	0	0	0	0	0
4-5	5	Strongly/extremely polluted	0	0	0	0	0	0
3-4	4	Strongly polluted	0	0	0	0	0	0
2-3	3	Moderately/strongly polluted	0	0	0	0	16	0
1-2	2	Moderately polluted	0	0	0	0	53	0
0-1	1	Practically unpolluted/moderately polluted	0	2	0	0	25	0
≤0	0	Practically unpolluted	168	166	168	168	74	168

다. 전반적으로 강화남단에서 순천만으로 남하함에 따라 입도가 조립화되는 경향을 나타내었고, 순천만에서 가장 세립한 경향을 보였다. 조사시기별로 강화남단과 증도의 경우 2015년보다 2017년에 평균입도가 보다 세립화되는 경향을 나타내었다.

강열감량은 2015년 순천만에서 15.5%로 다른 지역에 비해 상대적으로 높았으나 2016년 8.3%, 2017년 7.0%로 시간의 경과에 따라 점차 감소되었다. 그 밖의 지역에서는 낮은 농도로 유의미한 차이를 보이지 않았다.

미량금속 농도는 증도와 순천만의 일부정점에서 Zn와 As가 주의기준(TEL)을 초과하였으나 기타 금속의 경우 오염농도 이하의 범위로 분석되어 오염의 개연성이 나타나지 않았다. 또한, 연구지역내 퇴적물중 평균입도와 미량금속 농도 사이의 관계를 살펴본 결과, 증도의 경우 수은을 제외한 모든 미량금속과 강열감량이 평균입도와 정의 상관성($r=0.40$-0.88, $P < 0.05$)을 보였다. 반면 순천만의 경우, 입도와 미량금속은 유의한 상관성이 없는 것으로 파악되었으며, 강열감량과 미량금속 간에 음의 상관성($p < 0.05$)을 나타내었다.

퇴적물의 미량금속 오염을 평가하기 위하여 농집지수 I_{geo}를 계산한 결과, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg에 대해서는 1보다 작은 범위로 오염되지 않았고, As의 경우 순천만과 증도의 일부정점에서 약간 오염된 수준에 해당되었다. 비소(As)의 경우 국내 지각의 평균 농도가 상대적으로 높은 자연적인 현상과 농업활동에 사용된 제초제 등에 의한 인위적 오염원에 의한 오염개연성 등 복합적 요인에 기인 된 것으로 생각된다.

사 사

본 논문은 해양수산부와 해양환경공단이 주관하는 “국가해양생태계종합조사”의 자료를 이용하여 작성되었습니다. 국가해양생태계종합조사는 매년 입찰에 의하여 조사 기관이 선정되므로 조사 연도에 따라 자료 생산 기관이 상이하여 자료를 직접 생산한 연구자 및 조사 기관을 전부 특정할 수 없어 본 논문의 저자에서는 생략하였습니다. 본 과제의 현장 조사 및 시료 분석에 기여하신 다수의 연구자와 조사 선박을 운영하여 주신 분들께 감사드립니다.

참고문헌(References)

Baek, Y.S., S.H. Lee, S.H. Lee, H.J. Kim, H.T. Jou and S.O. Ryu, 2016. Textural facies and distribution of surface sediments and morphology on Korean tidal flats. Coastal Research, **75**: 1307-1311.

Baek, Y.S., J.K. Kim and S.S. Chun, 2016. Spatio-temporal zonation by ichnocoenoses combined with sedimentary facies in the Yeochari tidal flat (Ganghwa Island), the Han River estuary of Korea, Geosciences Journal, **20**: 295-309.

Cho, H.C. and Y.G. Cho, 2015. Heavy metals in surface sediments from Doam bay, Southwestern coast of Korea. J.Kor.Soc.Oceanogr., **20**: 159-168.

Cho Y.G., C.B. Lee and M.S. Choi, 1999. Geochemistry of surface sediments off the southern and western coasts of Korea, Marine Geology, **159**: 111-129.

Choi J.K., J.A. Eom and J.H. Ryu, 2011. Spatial relationships between surface sedimentary facies distribution and topography using remotely sensed data: Example from the Ganghwa tidal flat, Korea, Marine Geology, **280**: 205-211.

Folk, R.L., 1968. Petrology of sedimentary rock. Hemphill Publishing Co., Austin, TX, USA, p. 170.

Hue, H.K., D.H. Kim, S.H. Ahn and W.W. Park, 2000. Characteristics of the sedimentary environment in Yoja bay in the summer of 1998. Kor J. Environ Biol, **18**: 227-235.

Hwang, D.W., P.J. Kim, R.H. Jung and S.P. Yoon, 2013. Distributions of organic matter and trace metals in intertidal surface sediment from the Mokpo-Haenam coast. Kor. J. Fish. Aquat. Sci., **46**: 454-466.

Hwang, D.W., S.G. Kim, M.K. Choi, I.S. Lee, S.S. Kim and H.G. Choi, 2016. Monitoring of trace metals in coastal sediments around Korean Peninsula. Mar. Pollut. Bull., **102**: 230-239.

Hwang, D.W. and B.S. Koh, 2012. Sedimentary and benthic environment characteristics in macroalgal habitats of the intertidal zone in Hampyeong bay, Kor J Fish Aquat Sci., **45**: 694-703.

Hwang, D.W., S.O. Ryu, S.G. Kim, O.I. Choi, S.S. Kim and B.S. Koh, 2010. Geochemical characteristics of intertidal surface sediments along the southwestern coast of Korea, Kor J. Fish. Aquat. Sci., **43**: 146-158.

Ingram, R.L. Sieve analysis. 1971. In: Carver. R.E.(ed.). Procedures in sedimentary petrology. Willey-InterScience, New York, pp. 49-67.

Jang, S.G. and C.J. Cheong, 2010. Characteristics of grain size and organic matters in the tidal flat sediments of the Suncheon bay, Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, **13**(3): 198-205.

Lee, H.J., H.R. Jo, Y.S. Chu and K.S. Bahk, 2004. Sediment transport on macrotidal flats in Garolim bay, west coast of Korea: significance of wind waves and asymmetry of tidal currents, Continental Shelf Research, **24**: 821-832.

MOF (Ministry of Ocenas and Fisheries) 2013a. Maritime environment pollutant testing method, Notification No. 2013-230.

Müller G. 1969. Index of geoaccumlation in sediments of the Rhine River, Geo Journal, **2**: 109-118.

MOF (Ministry of Oceans and Fisheries) 2013b. Marine environmental standard for sediment, Notification No. 2013-186, http://www.law.go.kr.

MOF (Ministry of Oceans and Fisheries) 2014. Notification No. 2014-96.

Ra, K., E.S. Kim, K.T. Kim, J.K. Kim, J.M. Lee and J.Y. Choi, 2013. Assessment of heavy metal contamination and its ecological risk in the surface sediments along the coast of Korea. J.Coast. Res., **65**: 105-110.

Ryu, S.O., H.S. You and J.D. Lee, 1999. Seasonal variation of surface sediments and accumulation rate on the intertidal flats in Hampyong bay, Southwestern coast of Korea, Journal of the Korean Society of Oceanography, **4**(2): 127-135.

Shin, D.H., H.I. Yi, S.J. Han, J.K. Oh and S.J. Kwon, 1998. Trnasport paths of surface sediment on the tidal flat of Garolim bay, West coast of Korea, Journal of the Korean Society of Oceanography, **3**(2): 59-70.

Taylor, S.R., 1964. Abundance of chemical elements in the continental curst: A new table. Geochem Cosmochim Acta, **28**: 1273-1285.

Taylor, S.R. and S.M. McLennan, 1995. The geochemical evolution of the continental crust. Reviews of Geophys, **33**: 241-265.

Yokoyama, H. 2000. Environmental quality criteria for aquaculture farms in Japanese coastal area-a new policy and its potential problems. Bul Natl Res Ins Aquacult, **29**: 123-134.

Youn, S.T., Y.K. Koh and S.O. Ryu, 1999. Distribution characteristics of surface sediments and metal elements in Hampyong bay, the Southwestern coast of Korea, J of the Korean Environmental Sciences Society, **8**(6): 677-684.