

대천항 퇴적물의 유기물 및 중금속 분포 특성 Distribution Characteristics of Organic Matter and Heavy Metal of Sediment in Daecheon Port

† 신우석 · 임지윤 · 윤영관

† Woo-Seok Shin · Ji-Yoon Lim · Young-Gwan Yoon

충남연구원 서해안기후환경연구소
Seohaean Research Institute, ChungNam Institute

(Received October 10, 2018 / Revised November 23, 2018 / Accepted November 28, 2018)

Abstract : In order to systematically and scientifically manage the organic and heavy metals against sediment at Daecheon Port, this study conducted particle composition, organic materials and heavy metals irradiation studies of sediments. Analysis of the grain size composition of sediments in the target study area showed the distribution characteristics of the mix of sand, silt and clay. That is, Station C (Stn. C) showed superior by fine-grained sediment, Station A and B (Stn. A and B) showed superior by coarse-grained sediment. The organic matter(COD, TOC, and IL) of Stn. C was appeared to be heavily polluted more than Stn. A and B. These data for the spatial properties in sediment showed that organic matter was related positively to the sediment silt-clay content. Also, in the case of heavy metals contamination in surface sediments, Stn. C was higher than Stn. A and B. Particularly, at the Stn. C, high organic matter concentration and C/N ratio value(>10) indicated that the sediment was composed highly of land-derived organic matter. From these results, it considered that the correlation analysis among to silt-clay, organic matter and heavy metal was found to have a good interrelationship.

Key words : C/N ratio, Contaminated sediment, Heavy metal, Organic matter

1. 서론

항만은 천연 또는 인공적으로 조성된 주요 시설로서 국가어항, 지방어항 등으로 각각 구분되며, 특히 국가어항은 이용범위가 전국적인 어항 또는 도서 벽지에 소재하고, 어장의 개발 및 어선의 대피에 필요한 어항을 말한다[1]. 또한, 항만은 선박의 왕래, 사람과 화물의 승선과 하역, 해양친수활동(레저) 등이 이루어지는 곳으로 우리나라에서는 무역항(29개)과 연안항(25개)으로 크게 구분되고 있다[1]. 이러

한 항만은 그 이용 특성상 어선 및 인간활동과 같은 인위적 활동이 활발한 구역이지만 해수 유통이 약하고 폐쇄성이 강해 해양환경의 질이 다른 연안 환경에 비해 상대적으로 저하된 것이 현실이다.

게다가, 폐쇄성 특성이 강한 지리적·지형적 특징을 갖는 항만 주변 육상 오염원(예를 들어, 어판장, 어시장, 어선 정비소, 산업시설 등)이 밀집한 곳에서는 오염물질이 항만으로 유입되는 경우가 많으며 유입된 오염물질은 퇴적되어 퇴적물 내 오염상태를 증가시킨다는 연

† Corresponding author email : swooseok77@cni.re.kr / Tel : +82-41-630-3932
ORCID Woo-Seok Shin : <https://orcid.org/0000-0002-7158-9727>

구가 많이 보고되고 있다[2,3]. 특히, 오염물질 중 미량금속은 유입된 후 분해되지 않고 장기간 축적되면서 주변 수환경 및 생태계에 많은 영향을 미치고 있어[4] 이를 평가하기 위한 다양한 방법들이 제시되고 있다[5,6]. 이중 국외의 경우 Müller(1979)가 제안한 농축계수(EF: enrichment factor)와 농집지수(I_{geo} : index of geoaccumulation)가 많이 사용되고 있으며[7], 미국 기상 대기청(NOAA)에서 제안한 오염퇴적물 기준도 함께 사용되고 있다. 한편, 대천항 및 인접수역에 관한 연구로서 2015년부터 지속적으로 조사하고 있는 서해안 연안환경측정망 모니터링 조사연구 결과에서 대천항 외부 해수수질(WQI: water quality index)은 전반적으로 2등급(좋음)~3등급(보통)의 수질을 나타내었다[8]. 이러한 수질 특성은 외부에서 유입되는 오염원의 영향과 내부 생산에 따른 영향을 받기도 하지만 저서 퇴적물로부터의 용출 및 재부유 등에 의해 수질에 영향을 미치기도 한다[9]. 따라서 저서 퇴적물에 대한 체계적이고 과학적인 분석을 통해 퇴적물의 특성을 조사할 필요성이 높다. 하지만 대천항 내 표층 퇴적물의 유기물 및 중금속 분포 특성에 관한 조사 연구는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 대천항 내 표층 퇴적물의 지화학적 특성과 미량금속에 대하여 환경기준을 이용하여 오염도를 평가하였다. 또한 이러한 조사를 통하여 얻은 결과는 대천항 수역의 환경보존대책 수립을 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구지역

서해 대천항은 보령 시내에서 12 km, 대천해수욕장에서 1 km 떨어진 곳에 위치한 연안항으로서 대천 연안 여객선 터미널과 어판장, 어시장, 어선 수리소 등이 잠재적 오염원으로 위치해 있다. 한편, 동서 길이 약 1km, 남북길이

가 약 0.6 km이며 평균 수심 약 6m 내외의 연안항으로, 대천항 내 해저 퇴적물의 지화학적 특성 및 중금속 오염도를 조사하기 위하여 Stn. A ($36^{\circ}19'44''N$, $126^{\circ}30'50''E$), Stn. B ($36^{\circ}19'44''N$, $126^{\circ}30'43''E$), Stn. C ($36^{\circ}19'46''N$, $126^{\circ}30'28''E$) 3 곳을 선정하여 조사를 실시하였다(Fig. 1). 먼저, Stn. A는 어선 선박장과 어선 수리장이 자리잡고 있는 지역이고, Stn. B는 연안여객 터미널이 자리잡고 있다. 마지막으로 Stn. C에는 어선 선박장, 어판장, 어시장, 횃집 등이 밀집해 있다(Fig. 1).

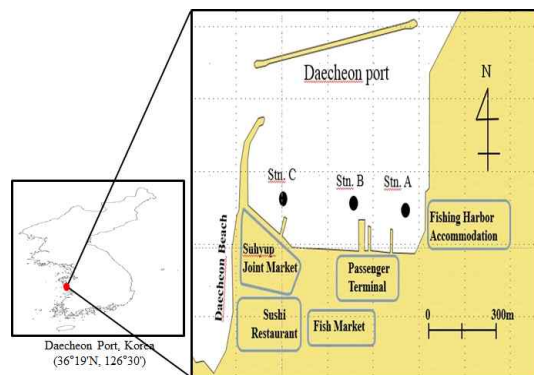


Fig. 1. Study site on Daecheon Port, Korea

2.2. 퇴적물 조사

2.2.1. 시료채취

대천항 내 퇴적물 채집 조사는 2018년 5월에 실시하였다. 각 조사정점에서 퇴적물 시료는 $0.1m^2$ 크기의 그랩 채니기(VAN VEEN Grab)를 사용하여 채취하였다. 채니기 덮개와 접촉하지 않은 퇴적물의 상층 부분(표층 2cm)을 플라스틱 주걱으로 취하여 시료봉투에 담고 드라이아이스로 냉동상태로 보관·운반하였으며, 유기물은 실험실 복귀 후 분석하였으며, 중금속은 분석 전까지 냉동 보관하여 추후 사용하였다.

2.2.2. 퇴적물의 물리화학적 성상 분석

퇴적물은 상온에서 풍건 후 이물질을 제거하

기 위해 체($< 1\text{mm}$)를 사용하여 제거한 후 퇴적물만을 실험에 사용하였다. 입도분석 전처리 과정 등은 퇴적물 20~30g을 표준입도 분석 방법에 따라 진행한 후 4 Φ (63 μm)의 표준체(KDPI-500A 시험용 표준체 #230 63 μm)를 이용한 습식체질을 통해 세립질 및 조립질 입자를 분리하였다[10]. 조립질 입자는 24시간동안 110 $^{\circ}\text{C}$ 에서 건조 시킨 후 건식체질을 통해 무게를 구하였다. 그리고 세립질 입자는 침전속도를 고려한 피펫팅법으로 분석하여 백분율을 산출하였다. 분석 후 측정된 자료는 Folk and Ward(1957)가 제안한 방법으로 산정하였으며[11], 퇴적상의 분류는 Folk(1986)의 방법을 따랐다[12]. 강열감량(Ignition Loss: IL)은 5g 퇴적물 시료의 건조 후 550 $^{\circ}\text{C}$ 에서 2시간 강열에 의해 소실된 무게의 차를 이용하였다[13]. 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand: COD)은 약 1g 퇴적물 시료를 과망간산칼륨, 수산화나트륨, 황산용액을 이용해 산화·발색 시킨 후 과망간산칼륨을 이용해 유리시키고, 전분지시약을 이용해 티오황상나트륨 용액으로 적정하였다[13]. 총 유기탄소(Total organic Carbon: TOC) 및 총질소(Total Nitrogen: TN)는 퇴적물 1g을 염산으로 전처리 후, CHN Analyzer(CHN analyzer: Flash1112/Thermo Fisher Scientific, USA)를 이용해 분석하였다. 총인(Total Phosphorus: TP)은 과황산칼륨으로 산화 분해한 후 아스크로브산 환원 흡광광도법으로 정량하여 분석하였다. 미량금속은 동결 건조한 시료 1g을 분쇄하여 혼합산($\text{HNO}_3\text{:HF:HClO}_4$)을 사용하여 산분해후 1N 질산으로 추출하여 유도결합플라즈마 발광광도계(ICP-MS, iCAP RQ, Thermo Fisher Scientific)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 퇴적물의 입도 특성

본 연구대상지인 대천항 퇴적물 입도 구성에

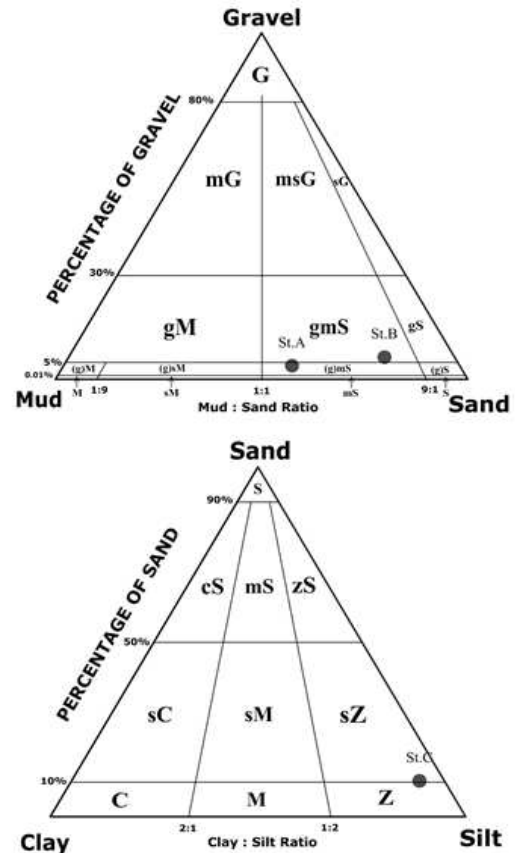


Fig. 2. The ternary diagrams showing the sediment type of sediment in study area

대한 결과들을 Fig. 2에 나타내었다. 본 연구 조사정점에서의 퇴적물 조성은 자갈(gravel)이 0.00~6.4% 범위로, Stn. A, B에서만 나타났다. 모래(sand)는 10.2~76.6%로 전 조사정점에 걸쳐 분포하였고, 특히, Stn. B(76.6%)에서 모래 함량이 가장 높았다. 실트(silt)와 점토(clay)는 각각 15.4~83.8%, 1.6~6.0%로 Stn. C (83.8%, 6.0%)에서 가장 높은 결과를 보였다. 정점별 퇴적물의 평균입도는 Stn. A(3.56 Φ)는 약역니질사((g)mS), Stn. B(2.14 Φ)는 역니질사(gmS), Stn. C(5.77 Φ)는 사질 실트(sZ)로 나타났다. 퇴적물의 등급은 Stn.

A(2.53Φ), Stn. B(2.13Φ), Stn. C(1.42Φ)로 불량분급(Poorly sorted)~극불량분급(Very poorly sorted)로 나타났다. 왜도는 Stn. A(0.02), Stn. B(0.06), Stn. C(-0.05)로 대부분의 값이 0에 가깝게 분포하고 있어 대칭 왜도(Near-symmetrical)로 나타났다. 첨도는 입도의 분포곡선이 정규분포에서 집중 또는 분산의 정도를 말하며 1이하이면 분산된 형태(platykurtic), 1이상이면 중앙으로 집중된 형태(leptokurtic)로 구분된다. 본 연구에서는 각 정점 Stn. A(1.09), Stn. B(1.21), Stn. C(1.19)에서 1 이상의 값을 나타내므로 중앙으로 집중된 형태(leptokurtic)로 나타났다.

3.2. 퇴적물 내 유기물 분포 특성

퇴적물 내 유기물의 분석 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 강열감량(IL)과 화학적산소요구량(COD) 농도는 각각 4.74~6.26%, 3.29~14.24 mg/kg로 Stn. C에서 가장 높게 나타났다. 총유기탄소(TOC)는 1.06~1.58%였으며, 총질소와 총인은 각각 0.04~0.10%, 165.8~382.9mg/kg으로 Stn.C에서 가장 높은 값을 보였다. 유기물의 기원 특성을 보이는 C/N비는 총유기탄소와 총 질소의 비로 퇴적된 유기물의 기원을 해명하는 데 이용되고 있다 [14,15].

해양생물 등의 기초생산 유래 유기물은 C/N비가 5~10이하이고, 육상 기원 유기물의 경우 C/N비가 10이상으로 나타나고 있다 [16]. 본 조사 정점에서 C/N비는 10.6~31.6으로 모

두 10 이상으로서 육상기원 기여도가 해양 기원 유기물 오염 기여도 보다 큰 것으로 판단된다. 특히, Stn. A와 Stn. B에서 높은 C/N비는 육상기원 유기물의 영향을 크게 받고 있다고 판단된다.

3.3. 퇴적물 내 중금속 농도 분포 및 오염특성

대천항 표층 퇴적물 내 미량금속 원소의 농도 분포 특성을 알아보기 위하여 각 정점별 미량금속 원소의 농도를 Fig. 4에 나타내었다. 크롬(Cr)은 2.86~89.43 mg/kg, 카드뮴(Cd)은 0.00~0.21 mg/kg, 구리(Cu)는 0.55~29.87 mg/kg, 납(Pb)은 1.49~30.94 mg/kg, 아연(Zn)은 5.67~109.35 mg/kg, 니켈(Ni)은 1.06~28.69 mg/kg, 비소(As) 0.23~3.44 mg/kg, 수은(Hg)은 6.03~20.88 ug/kg으로 나타내었다. 모든 중금속은 Stn.C에서 최고 농도를 보였고, Stn. A, Stn. B순으로 농도가 높았다 (Fig. 4).

각 나라별로 퇴적물 내 금속원소의 오염평가는 다양한 오염기준을 이용하여 상호 비교하고

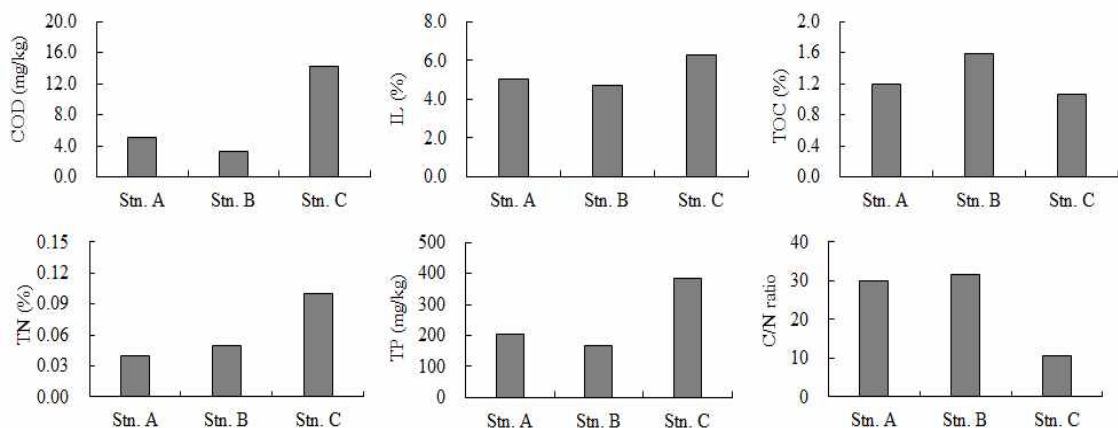


Fig. 3. Distribution characteristics of chemical parameters of sediment in study area

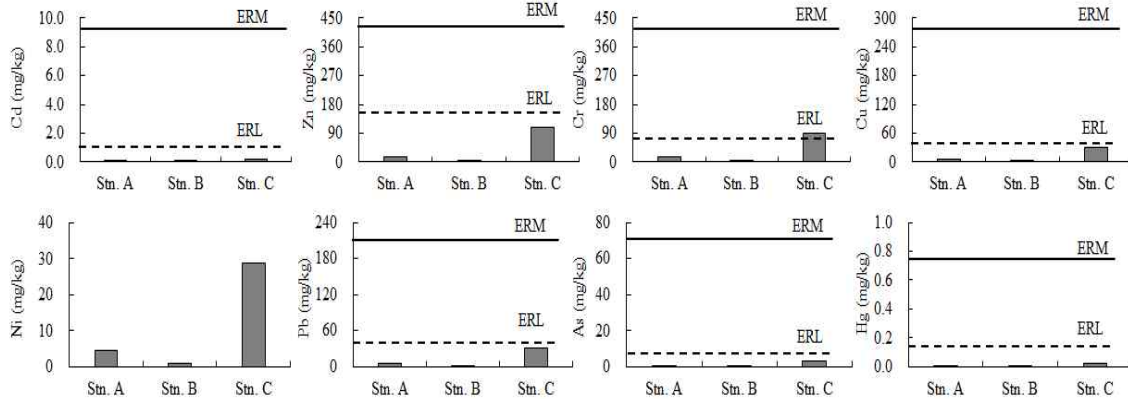


Fig. 4. The concentration of metallic elements in sediment of study area. The dotted and solid lines mean the values of ERL (effect range low) and ERM (effect range median) proposed by NOAA, respectively

있다. 본 연구지역 내 퇴적물 중 미량금속 원소의 농도를 미국 해양 대기청(NOAA)의 오염기준인 ERL(Effect range low) 및 ERM(Effect range median)의 값으로 비교하였다 [17]. 게다가 오염정도를 파악하기 위해 오염기준 외에 농축계수(Enrichment Factor, EF)와 농집지수(Geoaccumulation index, I_{geo})를 사용하였다[7].

여기서, 농축계수(EF)는 지구 지각물질 중에 풍부하고 보편적인 성질을 가진 원소인 알루미늄(Al) 혹은 철(Fe)을 배경 성분으로 사용하여 점토광물의 구성비율과 조사지역내 미량금속의 구성비를 이용하여 각 중금속의 농축정도를 평가하는 방법이다[18, 19]. 본 연구에서는 알루미늄(Al)을 이용하여 각 미량금속 원소의 농도비를 기초로 다음의 식 (1)을 이용하여 농축계수(EF)를 구하였다.

$$EF = \frac{(Me/Al)_{sample}}{(Me/Al)_{background}} \quad (1)$$

여기서 (Metal/Al)sample는 연구 지역 내 퇴적물 중 알루미늄(Al)에 대한 각 미량금속의 농도비, (Metal/Al)background는 지각 내 알루미늄

미늄(Al)에 대한 각 미량금속의 농도비를 의미한다. 금회 조사에서 사용된 바탕농도(background) 값은 전 세계 연안 대륙붕지역의 퇴적물 내 중금속의 농도를 이용했다 [18,19]. 또한 연구지역 내 지질특성을 반영한 오염 상태를 정량적으로 평가할 수 있는 농집지수(I_{geo})는 Müller(1979)가 제안하였으며, 식 (2)을 이용하여 구하였다[7].

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

여기서 C_n 은 측정된 퇴적물 내 중금속의 농도이며, 지수 1.5는 지각 기원에 의한 영향을 보정하기 위해 사용되었고, B_n 은 미량금속의 바탕농도(background)이다. 금속원소의 바탕농도는 대체로 셰일(shale) 또는 지각물질의 평균농도를 사용하고, 일부 연구에서는 오염원의 영향이 적은 지역 또는 조사 결과에서 가장 낮은 농도를 사용하는 경우도 있다[20].

본 연구에서는 바탕농도를 농축계수에서와 마찬가지로 Taylor(1964)와 Taylor and McLennan(1995)의 바탕값을 이용하였다 [18,19]. 대천항 퇴적물 내 미량금속 원소 농

도를 미국 NOAA에서 권고하는 퇴적물 기준 (ERL-ERM 기준)과 비교한 결과, Stn. C에서 Cr이 89.43 mg/kg으로 NOAA의 하위권고기준인 ERL(81 mg/kg)을 초과하였다(Fig. 4). 그 외 미량금속 원소농도에서는 하위권고기준인 ERL 미만이었다(Fig. 4). 대천항 내 표층 퇴적물의 오염도를 평가하는 농축계수(EF) 값은 총 7개 등급으로 구분되며 Fig. 5(a)와 Table 1에 나타내었다. Hg은 모든 정점에서 EF class 값이 0인 오염되지 않은 상태(no enrichment)를 보였고, Cd, Cr, Pb, As인 경우는 Stn. B에서 0인 오염되지 않은 상태였지만 Stn. A와 Stn. C에서는 1인 약간 오염상태(minor enrichment)를 보였다. 그리고 Cu와 Zn은 Stn. C에서만 1인 약간 오염상태를 보였고 그 외 지점에서는 0인 오염되지 않은 상태를 보였다(Fig. 5a, Table 1). 한편, I_{geo} 값은 총 7개 등급으로 구분되는데[19], 대천항 표층 퇴적물에 대한 I_{geo} 계산 결과를 Fig. 5(b)와 Table 2에 나타내었다. 조사지점에서 I_{geo}

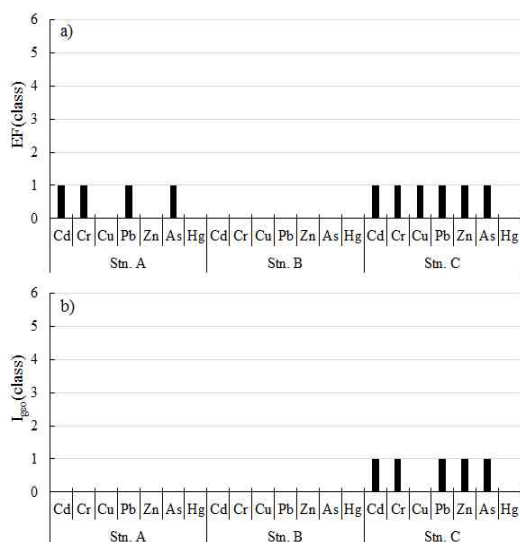


Fig. 5. Levels of sediment pollution by EF and I_{geo} of trace metals in surface sediments of Daechon Port

class가 0인 오염상태(Practically unpolluted) 미량금속은 Cu와 Hg이었으며, Cd, Cr, Pb, Zn, As은 모두 Stn. C에서 I_{geo} class가 1인 오염상태(Moderately polluted)를 나타내었다(Fig. 5b, Table 2). 이러한 결과로 보면 대천항의 퇴적물은 미량금속 원소에 따라 오염상태의 차이를 보이고 있으며 주변 육상으로부터 인위적인 오염의 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히 유기물 및 중금속 오염 상태는 Stn. C에서 두드러진 특성을 보였다.

Table 1. Classification of enrichment factor by the heavy metals relative to Al in surface sediment

EF	EF Class	EF						
		Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	As	Hg
> 50	6	0	0	0	0	0	0	0
25~50	5	0	0	0	0	0	0	0
10~25	4	0	0	0	0	0	0	0
5~10	3	0	0	0	0	0	0	0
3~5	2	0	0	0	0	0	0	0
1~3	1	2	2	1	2	1	2	0
< 1	0	1	1	2	1	2	1	3

Table 2. Classification of I_{geo} and I_{geo} -class for the sediment pollution in sediment by heavy metals

I_{geo}	I_{geo} Class	I_{geo}						
		Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	As	Hg
>5	6	0	0	0	0	0	0	0
4~5	5	0	0	0	0	0	0	0
3~4	4	0	0	0	0	0	0	0
2~3	3	0	0	0	0	0	0	0
1~2	2	0	0	0	0	0	0	0
0~1	1	1	1	0	1	1	1	0
0	0	2	2	3	2	2	2	3

3.4. 대천항 내 유기물 및 중금속 오염의 잠재적 평가

대천항 퇴적물 내 실트(silt) 및 점토(clay)와 같은 세립질 함량이 높은 정점일수록 유기물 농도 또한 높은 결과를 보였으며, 중금속 분포 특성을 조사한 결과에서도 유기물과 같은 경향을 보였다 [21,22]. 즉, 어선 정박장 및 어선 수리소가 인접한 Stn. A와 위판장, 어시장 및 횃집이 밀집해 있는 Stn. C에서 유기물과 미량금속이 유입되어 퇴적물에 장기간 축적되는 현상을 보여주고 있고, 또한 해류의 교환이 원활하지 않아 이러한 퇴적 현상을 점점 가중시키고 있을 가능성을 보여주고 있다고 판단된다. 특히, 미량금속 중 Cr와 같은 경우는 다른 미량금속들과 달리 NOAA 기준치 이상(ERL 기준 초과)의 퇴적 농도를 Stn. C에서 나타내고 있는데 이 부분에 대해서는 좀 더 체계적인 조사 연구가 필요하다고 판단된다. 대천항 내 저서 퇴적물에서의 유기물 및 중금속 농도 저감을 위해서는 항만 주변에 위치해 있는 어선 수리소, 어판장, 어시장 및 주변 도로에서 유입되는 육상으로부터의 점오염원과 비점오염원을 체계적으로 관리할 수 있는 방법을 모색해야 할 것으로 판단된다. 또한 강우와 같은 이벤트 발생시 유입에 따른 오염특성도 추후 조사가 필요하다.

4. 결론

대천항 내 표층 퇴적물에 대한 기본적 특성을 평가하고, 퇴적물 내 입도특성, 유기물 농도, 중금속 오염 농도와 관계 및 중금속 오염도를 평가함으로써 대천항을 관리하기 위한 체계적이고 과학적인 기본 자료를 제공하고자 한다.

1. 대천항 표층 퇴적물 중 실트와 점토 함량을 보면 Stn. A(40.7%), Stn. B(17.0%), Stn. C(89.8%)로 Stn. C에서 가장 세립질인

퇴적물 입도 특성을 보였다.

2. 표층 퇴적물의 유기물 오염 정도는 어판장, 어시장 등이 있는 Stn. C가 어선 정박장 및 어선 수리소가 있는 Stn. A나 유람선 선착장이 있는 Stn. B보다 유기물 오염도가 높은 것으로 나타났으며, 표층 퇴적물 내 총 질소 및 총 인도 또한 Stn. C가 높은 것으로 나타났다.

3. 표층 퇴적물중의 중금속 농도를 비교해 보면, 모든 미량금속 항목에서 Stn. C쪽이 높은 농도를 보였으며, 미국 해양 대기청(NOAA) 퇴적물 기준과 비교하면 Stn. C에서 Cr만 ERL을 초과하는 오염을 보였고 나머지 미량금속에서는 ERL 기준치 이하의 결과를 보였다. 미량금속 오염도를 나타내는 농축계수(EF)와 농집지수(I_{geo})에서는 Hg은 모든 지점에서 오염되지 않은 결과를 보였지만 그 외 미량금속에서는 지점별로 오염되지 않은 상태와 약간 오염된 상태를 보여 주변 육상으로부터 인위적인 오염의 영향을 받고 있는 것으로 판단된다.

4. 대천항 퇴적물 입도와 이화학적 성분, 중금속과의 상관성에서 silt-clay 함량이 높을수록 유기물과 중금속 농도 또한 높은 특성을 보였으며 특히 silt-clay 함량이 높을수록 중금속 농도가 높아지는 경향을 보였다.

사사

이 논문은 2018년 충남연구원의 기본과제 재원으로 지원을 받아 수행된 연구임(18GI026, 항만 내 수 환경 개선에 관한 연구: 대천항을 중심으로).

References

- [1] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTMA) (2010). Guidance for

- remediation-restoration of marine contaminated sediment.
- [2] Kim, J. H., Nam, S. Y. (2014). Estimation of pollution degree of surface sediment from Incheon H Wharf. *J. of KSME*, 20(5), pp. 504~510.
- [3] Shin, W. S., Kim, Y. K. (2016). Stabilization of heavy metal contaminated marine sediments with red mud and apatite composite. *J. Soil. Sed.*, 16(2), pp. 726~735.
- [4] USEPA(2005). Contaminated sediment remediation guidance for hazardous waste sites.
- [5] Ministry of Oceans and Fisheries (2013). Marine environment management Act (2013-186).
- [6] NFRDI (2007). National fisheries research and Development institute, coastal environmental assessment and management, Work report(study environmental field).
- [7] Müller, P. J. (1977). C/N ratio in pacific deep sea sediments: effect of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds sorbed by clays, *Cosmochim Acta*, 41, pp. 765~776.
- [8] Chungcheongnam-do(2017). The west coastal environment monitoring.
- [9] Song, Y. C., Subha, B., Woo, J. H. (2014). Release of heavy metals into water from the resuspension of coastal sediment. *J. KSEE*, 36(7), pp. 469~475.
- [10] Ingram, R. L. (1971). Sieve analysis, In: Procedures in sedimentary petrology, ed. R. E. Carver, Wilson Interscience, Wiley Interscience, New York, pp. 49~68.
- [11] Fork, R. L., Ward, W. C. (1957). Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. *J. Sed. Res.*, 27(1), pp. 3-26.
- [12] Fork, R. L. (1986). Petrology of sedimentary rocks, Austin, Texax, Hemphill. pp. 170.
- [13] Ministry of Maritime Affairs and Fisheries. (2010). A guidance manual to support the investigation of marine contaminated sediments.
- [14] Nathalie, M., Pierre-Guy, S., Mireille, R., Pascale, M., Gael, G. (2008). Dynamics and sources of suspended particulate organic matter in the Marennes-Oleron oyster farming bay: Insights from stable isotopes and microalgae ecology. *Estuarine Coast. Shelf Sci.*, 78(3), pp. 1~11.
- [15] Yu, F., Zong, Y., Lloyd, J. M. (2010). Bulk organic $\delta^{13}\text{C}$ and C/N as indicators for sediment sources in the pearl river delta and estuary southern china. *Estuarine Coast. Shelf Sci.*, 87, pp. 618-630.
- [16] Holligan, P. M., Harris, R. P., Newell, R. C., Harbour, D. S., Head, R. N., Linley, E. A. S., Lucas, M. I., Tranter, P. R. G., Weekley, C. M. (1984). Vertical distribution and partitioning of organic carbon in mixed, frontal and stratified waters of the English Channel. *Mar. Ecol.*, 14, pp. 111-127.
- [17] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (1999). Sediment quality guidelines developed for the national status and trends program.
- [18] Taylor, S. R. (1964). Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 28(8), pp. 1273~1285.
- [19] Taylor, S. R., McLennan S. M. (1995). The geochemical evolution of the continental crust, *Reviews of geophysics*, 33(2), pp. 241~265.

-
- [20] Hwang, D. W., Ryu, S. O., Kim, S. G., Choi, O. I., Kim, S. S., Koh, B. S. (2010). Geochemical characteristics of intertidal surface sediments along the southwestern coast of Korea, *Korean J. of FA*, 43(2), pp. 146~158.
- [21] Shin, W. S., Aikawa, Y., Nishimura, O. (2012). Chemical properties of sediment in nanakita estuarine tidal flat: estimation of sedimentary organic matter origin by stable isotope and fatty acid. *Environ. Eng. Res.*, 17(2), pp.77~82.
- [22] Kim, S. K., Lee, M. K., Ahn, J. H., Kang, S. W., Jeon, S. H. (2005). The effects of mean grain size and organic matter contents in sediments on the nutrients and heavy metals concentrations. *J. of KSEE*, 27(9), pp. 923~931.