

# 한국환경준설학회지

Journal of Korean Environmental Dredging Society

제 5권 1호

## 한국환경준설학회지

Journal of Korean Environmental Dredging Society

제 5권 1호



한국환경준설학회지

제 5권 1호

KEDS 한국환경준설학회





# 한국환경준설학회지

Journal of Korean Environmental Dredging Society

제 5 권 1 호



(사)한국환경준설학회



## 목 차

### 논문

산업단지 인근 해역 퇴적물 중금속 오염도 및 퇴적량 평가 정혜령, 김경태, 김은수, 이승용, 나공태	1
진해만 서부해역 내만의 퇴적물 오염에 의한 저층 빈산소 영향 김수곤, 정우성, 안순모	11
용호만 오염퇴적물로부터 패류체내로의 중금속 이동·축적량 계산 최진영, 김경련, 원은지, 강예희, 임지영, 임채운, 양동범, 정창수, 김영일, 김석현, 홍기훈	25
준설토 연구, 정화·재활용 분야 활성화에 대한 제언 원호섭	30

### 기술자료

런던의정서 과학그룹회의의 동향 - 미국 육군공병단의 퇴적물 현장정화 기술지침	32
언론에서 보는 국·내외 환경준설 소식	40

## Index

### Article

<b>Estimation of pollution status and deposition of heavy metals in sediment cores around industrial complex</b> Hyeryeong Jeong, Kyung-Tae Kim, Eun-Soo Kim, Seung-Yong Lee, Kongtae Ra	1
<b>Effect of Bottom-layer Hypoxia on the Contaminated Sediment in the Western Inner Bays of Jinhae Bay System, Korea</b> Soo-Gon Kim, Woo Seong Jeong, Soonmo An	11
<b>Bioaccumulation of heavy metals in bivalves from contaminated sediments of Yongho Bay, Korea</b> Jin Young Choi, Kyoungrean Kim, Eun Ji Won, Yehui Kang, Jee Young Yim, Chae Woon Lim, Chang Soo Chung, Young Il Kim, Suk Hyun Kim, Gi Hoon Hong	25
<b>Proposal for future research on remediation and reuses of dredged materials in Korea</b> HoseobWon	30

### Technical document

<b>Trend of Scientific Group of London Protocol</b> - Technical guidelines for in situ sediment remediation Submitted by the United States	32
<b>Domestic and foreign dredging news</b>	40



# 내 문

- 산업단지 인근 해역퇴적물 중금속 오염도 및 퇴적량 평가 / 정혜령, 김경태, 김은수, 이승용, 나공태
- 진해만 서부해역 내만의 퇴적물 오염에 의한 저층 반산소 영향 / 김수곤, 정우성, 안순모
- 용호만 오염퇴적물로부터 패류체내로의 중금속 이동축적량 계산 / 최진영, 김경련, 원은지, 강예희, 임지영, 임채운, 양동범, 정창수, 김영일, 김석현, 홍기훈
- 준설토 연구, 정화재활용분야 활성화에 대한 제언 / 원호섭



# 산업단지 인근 해역 퇴적물 중금속 오염도 및 퇴적량 평가

## Estimation of pollution status and deposition of heavy metals in sediment cores around industrial complex



Journal of Korean  
Environmental  
Dredging Society

정혜령<sup>1,2)</sup>, 김경태<sup>1,2)</sup>, 김은수<sup>1)</sup>, 이승용<sup>1)</sup>, 나공태<sup>1,2),\*</sup>  
Hyeryeong Jeong<sup>1,2)</sup>, Kyung-Tae Kim<sup>1,2)</sup>, Eun-Soo Kim<sup>1)</sup>, Seung-Yong Lee<sup>1)</sup>,  
Kongtae Ra<sup>1,2),\*</sup>

<sup>1)</sup>15627 경기도 안산시 상록구 해안로 787 한국해양과학기술원  
<sup>1)</sup>Korea Institute of Ocean Science and Technology,  
787 Haeantro, Ansan 15627 Korea

<sup>2)</sup>15627 경기도 안산시 상록구 해안로 787 한국해양과학기술원  
과학기술연합대학원 대학교 해양융합과학과  
<sup>2)</sup>Korea University of Science and Technology (UST),  
Department of Integrated Ocean Sciences, KIOST, 787  
Haeantro, Ansan 15627 Korea

\*: 교신저자(나공태: ktra@kiost.ac.kr, +82-31-400-6166)

### Abstract

An assessment of pollution status and deposition for heavy metals in sediment core samples near highly industrialized area were carried out. The mean metal concentrations (mg/kg) occurred in the following order: Zn(353)>Cu(152)>Cr(119)>Pb(78.6)>Ni(49.9)>As(10.8)>Cd(1.20)>Hg(0.091). Cr, Ni, Cu, Zn, Pb and Hg were highest at St. D. The highest levels of As and Cd were observed at St. A and St. C. These indicate that the drainage area and input from industrial activities could affect metal pollution. Sediment cores have been found to be moderately to highly polluted for Cu and Cd; moderately polluted for Ni, Zn and Hg; moderately to unpolluted for Pb, Cr and As on the assessment of pollution status using geo-accumulation index. The results (sediment quality index; SQI) of assessment of sediment quality which was based on the TEL of Korea ranged from “poor” to “very poor” condition. It indicates that enormous metal pollutants were enter into the coastal region throughout sewer outlet. near industrial facilities 162,536 tons (dry weight) of highly polluted sediments had deposited in the study area (0.547 km<sup>2</sup>) with depth of 68cm. Total amount of deposition for 8 measured metals was 116.2 ton. Zn had the highest value (52.4 ton) and other metals decreased in the following order of Cu(22.8)>Cr(18.5)>Pb(12.7)>Ni(7.8)>As(1.72)>Cd(0.19)>Hg(0.014).

**Keywords:** Sediment cores, Heavy metals, Pollution, Geo-accumulation index, Sediment quality index

정혜령, 김경태, 김은수, 이승용, 나공태

## 요약문

본 연구에서는 시화호 산업단지 인근해역에 축적된 퇴적물 코어시료의 중금속 오염도 및 퇴적량에 대한 조사를 실시하였다. 중금속의 평균농도(mg/kg)는 Zn(353)>Cu(151.7) >Cr(119) >Pb(78.6)>Ni(49.9) >As(10.8) >Cd(1.20) >Hg(0.091)의 농도 순이었다. 각 퇴적물 코어시료 내 중금속의 평균농도는 Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, Hg 은 정점 D 에서, As 와 Cd 은 각각 정점 A 와 C 에서 최대농도를 나타내어 토구의 유역면적이 큰 지역에서 상대적으로 높은 농도를 보였다. 농집지수(geo-accumulation index; Igeo)를 이용하여 금속 오염도를 평가한 결과, Cu 와 Cd 은 Moderately to highly polluted 상태였고, Ni, Zn, Hg 은 Moderately polluted 의 오염상태를 보였다. Pb, Cr, As 는 Moderately to unpolluted 상태로 오염도가 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 분석된 8 개 중금속을 우리나라 퇴적물 주의기준(TEL)과의 비교를 통하여 퇴적물의 종합적인 질적평가(Sediment quality index by CCME)를 실시한 결과, 총 7 개 코어시료 중 5 개시료(A, B, E, F, G)는 나쁨(Poor)의 등급, 중앙부인 2 개 코어시료 (C, D)는 매우 나쁨(Very poor)에 해당되는 등급이었다. 연구지역인 산업단지 인근 0.547 km<sup>2</sup> 면적의 68 cm 깊이에는 162,536 ton(dry weight)의 중금속에 오염된 퇴적물이 존재함을 알 수 있었다. 본 연구에서 분석된 8 개 금속원소에 대한 총 퇴적량(ton)은 116.2 ton 이었고, 이 중 Zn 이 52.4 ton 으로 가장 많은 부분을 차지하고 있었고 Cu(22.8)>Cr(18.5)>Pb(12.7)>Ni(7.8)>As(1.72)>Cd(0.19)>Hg(0.014) 의 순으로 나타났다.

**주제어:** 퇴적물 코어, 중금속, 오염도, 농집지수, 퇴적물 질적 평가

## I. 서론

시화호는 2012 년 조력발전소 가동 이후 외해수와의 해수교환량 증가에 따라 수질은 다소 개선되는 것으로 나타났으나, 시화호 북측유역에 시화 및 국가산업단지가 존재하여 퇴적물은 여전히 중금속에 오염되어 있는 상태이다[1]. 시화호 퇴적물 내 중금속 오염은 산업단지 인근인 내측 상류지역에서 높고 시화방조제로 갈수록 감소하는 특징을 보였으며, 특히 지속적으로 Cu, Zn, Cd 의 상류지역 오염도가 심각한 수준인 것으로 보고되었다[2, 3, 4, 5]. 주변 산업단지 유역의 하천수 및 토구 유출수 내 용존중금속 농도는 시화호 내측 표층 해수에 비해 6.6-136 배 높은 것으로 나타나, 시화호 내측 중금속의 주요한 오염원은 산업단지 내 하천과 토구인 것으로 나타났다[6]. 산업활동의 영향으로 시화호 유역 산업단지 내 하천퇴적물 내 중금속 농도는 농업 혹은 도심지역에 비해 3.3(Co)-83(Cu)배 높은 결과를 보였으며, 산업지역 내 하천 중 85%이상이 Cr, Ni, Cu, Zn, Pb 이 퇴적물 관리기준(probable effect level; PEL) 을 초과하는 것으로 나타났다[7].

미국 환경청(US EPA)에 의하면 오염퇴적물(contaminated sediments)은 인간건강과 환경 에 위협을 가하는 것으로 생각되는 강, 하천, 연안 및 해양의 저층에 퇴적되어 있는 수생퇴적물로서, 미국에서는 전체 퇴적물 중 10%에 해당되는 지역에 오염퇴적물이 존재하고 있다[8]. 오염 퇴적물은 특정

유해물질의 농도가 높은 고농도의 오염원이며, 재부유 등으로 인하여 지속적인 오염을 일으켜 저서생물은 물론 수계 생태계에 악영향을 미치는 문제점을 가지고 있다. 이러한 오염퇴적물의 처리 없이는 해양환경 오염을 관리하는데 한계가 있고 상류의 유입 수질을 개선하더라도 기존 오염퇴적물이 하류로 오염을 전파시켜 환경 및 생태계에 직·간접적인 영향을 미치게 된다[9].

시화호 내측 산업단지 인근에서 발생하는 강우를 배수하기 위해 설치한 토구와 공장의 폐수관은 서로 연결되어 있어 토구를 통해 많은 양의 오염물질이 유입되고 있다[10]. 따라서 본 연구에서는 시화호 내측 토구(7 개 정점)에서 퇴적물 코어를 채취해 중금속 원소 8 개항목(Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb, Hg)에 대한 농도 분포 특성, 오염도, 위해성 평가 및 퇴적량에 대한 조사를 실시하였다.

## II. 재료 및 방법

### II-1. 시료채취

반월스마트허브와 인접한 시화호 상류 지역에서 총 7 개의 퇴적물 코어시료를 채취 하였다. 각각의 코어시료는 반월스마트 허브 내에 존재하여 강우 시 비점오염물질이 직접적으로 배출되는 7 개의 토구 앞이다.



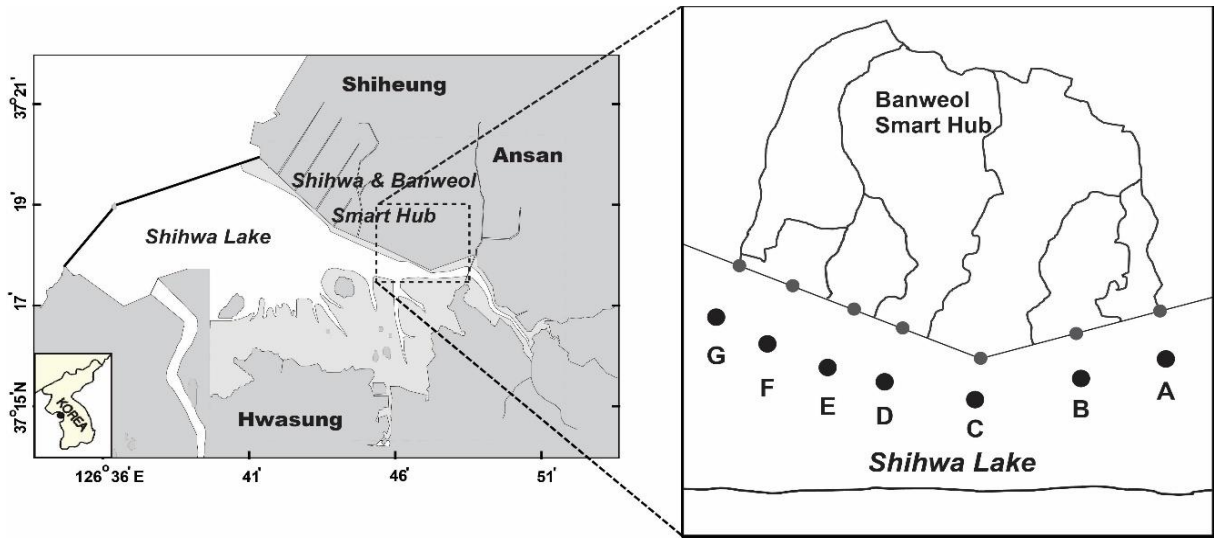


Fig. 1. Sampling sites of the sediment cores near Banweol Smart Hub of Shihwa Lake

Table 1. Summary of heavy metal concentrations and sediment quality index (SQI) in the sediment cores.

Sites	Al	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Hg	SQI
	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
A(~88cm)	8.07	119	43.5	110.7	260	11.5	1.06	58.6	0.091	56.5
B(~88cm)	8.24	109	44.1	102.2	254	10.7	1.17	61.9	0.095	54.2
C(~78cm)	8.03	130	51.9	169.2	340	10.4	1.51	88.1	0.089	43.4
D(~92cm)	8.62	137	65.8	228.5	576	10.7	1.46	110.5	0.114	39.6
E(~68cm)	8.48	112	49.7	152.5	368	10.9	1.08	79.8	0.078	49.2
F(~72cm)	8.17	129	51.2	192.2	381	11.1	1.26	79.9	0.096	46.0
G(~86cm)	8.28	101	42.9	106.7	289	10.5	0.83	71.4	0.075	58.6
Mean	8.27	119	49.9	151.7	353	10.8	1.20	78.6	0.091	49.8

1 토구(St. A), 2 토구(St. B), 3 토구(St. C), 4 토구(St. D), 5 토구(St. E), 6 토구(St. F), 7 토구(St. G) 앞에서 아크릴로 제작된 코어(내경: 12 cm)를 이용하여 표층퇴적물이 저층의 퇴적물과 교란되지 않도록 다이버가 직접 채취하였다(Fig. 1). 퇴적물 코어시료는 실험실로 운반한 뒤 2 cm 간격으로 절단하였다. 시료는 동결건조(Labconco freeze dry system, USA)하였으며 자동분쇄기(Pulverisete 6, Fritsch Co. Deutschland)로 분쇄하여 균질화하였다.

## II-2. 중금속 분석

퇴적물 내 중금속 분석은 분쇄 및 균질화가 완료된 시료 약 0.1 g 을 테프론 산분해용기(digestion bomb)에 넣고 고순도의 불산(HF), 질산(HNO<sub>3</sub>) 및 과염소산(HClO<sub>4</sub>)을 가한 뒤 가열판(hot plate)을 이용해 180℃로 24 시간 가열하였다[11]. 용기내의 시료가 완전분해되면 뚜껑을 열어 증발건고 한 뒤 1 % 질산으로 재용해하여 측정하고자 하는 원소에 따라 적절하게 희석하여 Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry(ICP-MS; Thermo Elemental X-7)로 분석하였다.

정혜령, 김경태, 김은수, 이승용, 나공태

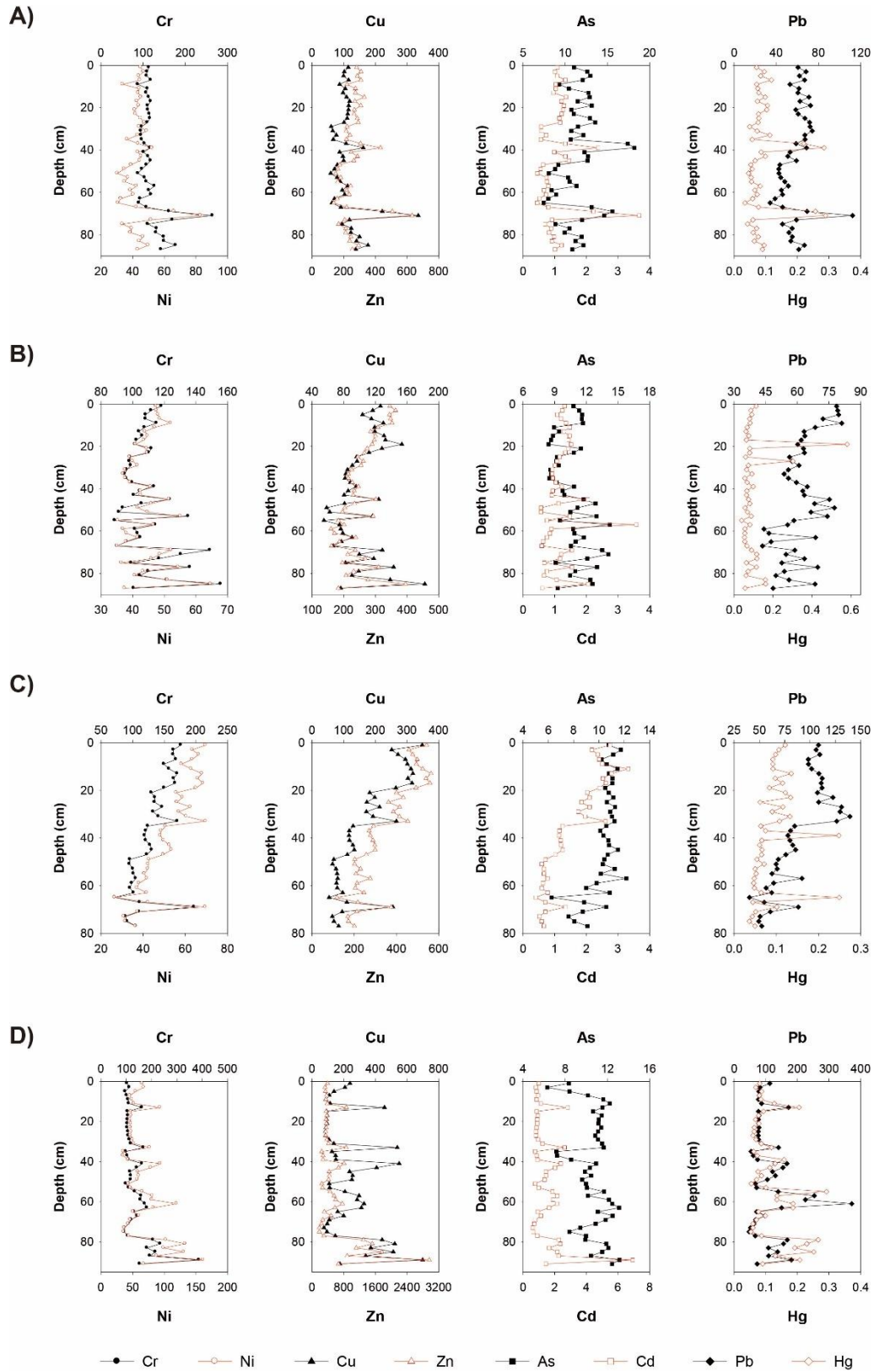


Fig. 2. Vertical profiles of heavy metals in the sediment cores at St. A~D

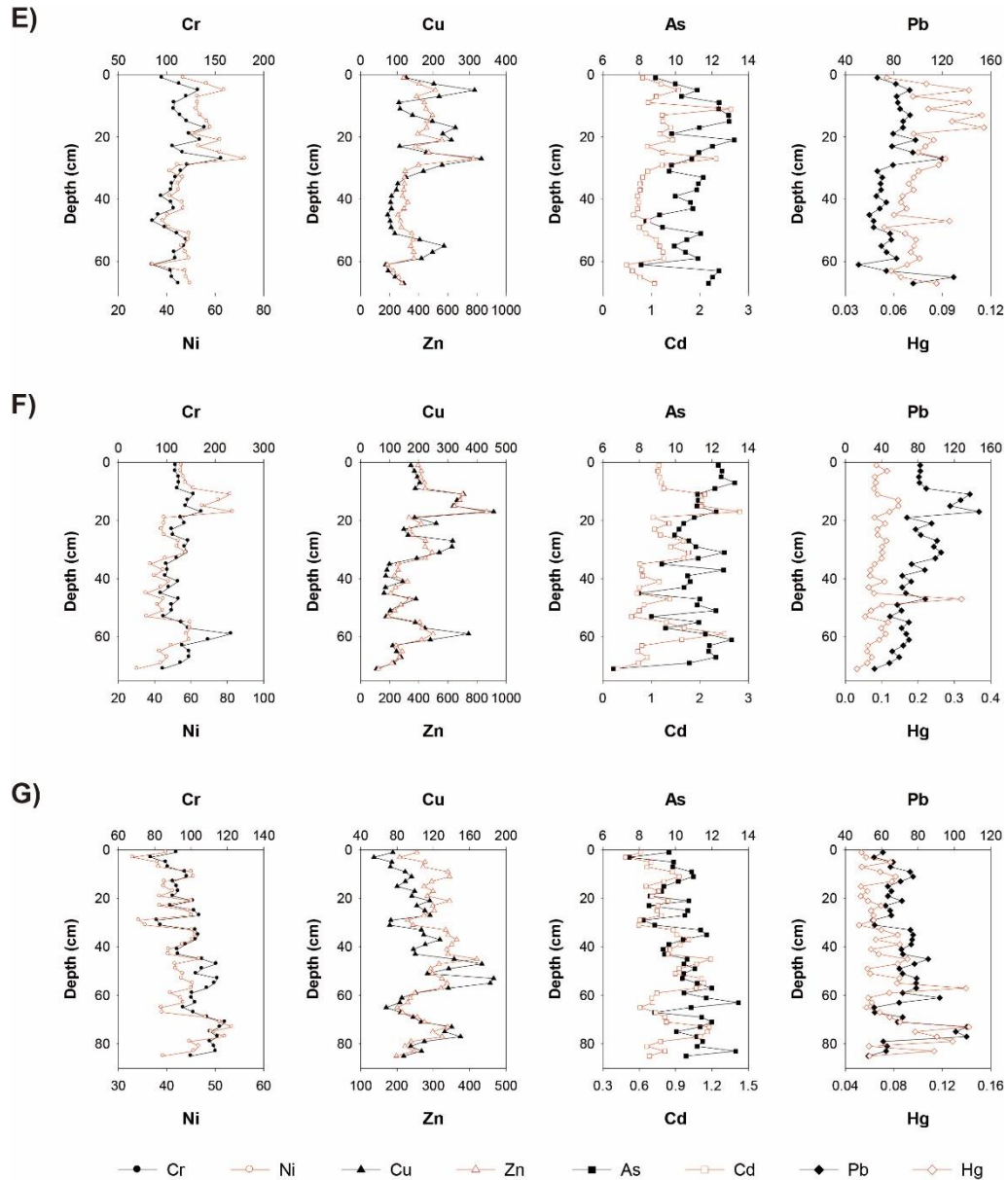


Fig. 3. Vertical profiles of heavy metals in the sediment cores at St. E-G

퇴적물 내 수은은 US EPA Method 7473 에 기초를 둔 열분해와 금아말감법을 이용한 자동수은분석기 (Hydra-C, Teledyne Technologies Co., USA)를 사용하여 측정하였다. 분석된 퇴적물은 중금속 자료의 정확도를 검증하기 위하여 해양 퇴적물 표준물질인 MESS-3 (National Research Council, Canada)를 시료와 함께 전처리하여 측정하였고, 회수율은 94.0% (Al)~117.9% (Cd) 의 매우 양호한 결과를 얻었다.

### III. 결과 및 고찰

#### III-1. 퇴적물 코어시료 내 중금속 농도 분포

토구 앞 코어 퇴적물 내 중금속 평균 농도 비교를 Table 1 에 나타냈다. 중금속의 평균농도(mg/kg)는 Zn 이 353 mg/kg로 가장 높은 농도를 보였으며, Cu(151.7)>Cr(119)>Pb(78.6)>Ni(49.9)>As(10.8)>Cd(1.20)>Hg(0.091)의 농도순이었고, 정점에 따라 1.1(As)~2.3(Zn)배의 농도 차이를 보였다. 퇴적물 코어시료 내 중금속의 평균농도는 Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, Hg 은 정점 D에서,

정혜령, 김경태, 김은수, 이승용, 나공태

As 와 Cd 은 각각 정점 A 와 C 에서 최대농도를 나타냈다.

퇴적물 코어시료 내 중금속의 수직적인 농도분포는 Fig. 2-3 에 나타났다. 최상류지역인 정점 A 의 경우, 70 cm 깊이에서 모든 금속원소가 급격한 농도의 증가를 나타냈다. 또한 약 40 cm 퇴적 깊이에서 Cu, Zn, As, Cd, Hg 의 농도가 급격히 증가한 것을 알 수 있었다. 정점 A 에서 금속의 수직분포는 일부 퇴적 깊이에서 급격한 농도의 증가를 제외하고는 표층과 저층간에 농도차이가 크지 않았다. 그러나 Pb 은 40 cm 에서 표층으로 농도가 증가하고 있는 것으로 나타났다.

정점 B 에서 Cr, Ni, Cu, Zn 은 퇴적 깊이에 따라 농도의 변동폭이 컸으나, 저층에서 상대적으로 농도가 높았다. 이들 원소는 약 36 cm 퇴적 깊이에서 표층으로 갈수록 농도가 증가하는 경향을 보이고 있었다. Pb 은 정점 A 와 마찬가지로 저층에서 표층으로 갈수록 점차적으로 농도가 증가하고 있어, 지속적인 오염의 영향을 받은 것으로 판단된다. Hg 은 퇴적 깊이에 따른 농도의 차이가 다른 원소에 비해 작은 특징을 보였다. 그러나 18 cm 지점에서 0.580 mg/kg 로 15 배 정도 급격한 농도의 증가가 있는 것을 알 수 있었다.

정점 C 에서는 저층에서 표층으로 갈수록 중금속의 농도가 점차적으로 증가하는 경향을 보였다. 정점 A 와 마찬가지로 약 70 cm 퇴적 깊이에서 Cr, Ni, Cu, Zn, Hg 등의 원소가 급격히 농도가 증가한 결과를 보여, 이들 퇴적 깊이에

해당되는 시기에서 다량이 중금속 유입이 있었던 것으로 판단된다.

정점 D 는 정점 A 와 마찬가지로 표층과 저층간의 뚜렷한 농도차이를 보이지 않았으나, 일부 퇴적 깊이(13 cm, 33 cm, 43 cm, 81 cm 등)에서 급격하게 중금속 농도가 증가한 특징을 보였다. 정점 D 의 퇴적물 코어시료에서 As 와 Cd 의 평균농도는 다른 정점에 비해 높은 결과를 보였다(Table 1).

정점 E 에서는 저층에서 중층까지는 중금속 농도가 증가하다가 이후 표층으로 갈수록 다시 감소하고 있었으나, 다른 정점과 마찬가지로 일부 퇴적 깊이(7 cm, 27 cm)에서는 급격한 농도의 증가가 있었다. 농도범위는 Cr 85-156 mg/kg, Ni 34.2-72.2 mg/kg, Cu 68.8-332.2 mg/kg, Zn 183-775 mg/kg, As 8.1-13.2 mg/kg, Cd 0.49-2.64 mg/kg, Pb 51.1-129.5 mg/kg, Hg 0.054-0.116 mg/kg 로 퇴적 깊이에 따라 1.6(As)~5.4(Cd)배의 농도차이가 있었다.

정점 F 에서는 퇴적 깊이에 따른 농도의 증감이 있었으나, Cu, Zn, As, Pb, Hg 의 원소가 표층으로 갈수록 농도가 증가하는 경향을 나타냈다. 또한 원소에 따라 약간의 차이는 있으나, 11~17 cm, 27~29 cm, 59 cm 에서 급격한 농도의 증가를 보였다. Cu, Zn, Cd, Hg 은 퇴적 깊이에 따른 농도차이는 7 배 이상으로 컸으며, 나머지 원소는 2.0~4.6 배 수준이었다. Cr, Ni, Cd, Hg 의 평균농도는 다른 조사정점에 비해 낮은 것으로 나타났다.

Table 2. Pearson's correlation matrix among measured heavy metals. Bold indicates significant correlation at 99.9% confidence level ( $p < 0.01$ ).

	Al	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Hg
Al	-								
Cr	0.10	-							
Ni	0.21	<b>0.85</b>	-						
Cu	0.00	<b>0.83</b>	<b>0.88</b>	-					
Zn	0.13	<b>0.80</b>	<b>0.91</b>	<b>0.84</b>	-				
As	<b>0.50</b>	<b>0.38</b>	<b>0.35</b>	<b>0.22</b>	<b>0.25</b>	-			
Cd	0.01	<b>0.82</b>	<b>0.78</b>	<b>0.80</b>	<b>0.76</b>	<b>0.38</b>	-		
Pb	0.19	<b>0.56</b>	<b>0.79</b>	<b>0.71</b>	<b>0.63</b>	<b>0.24</b>	<b>0.60</b>	-	
Hg	0.02	<b>0.42</b>	<b>0.47</b>	<b>0.45</b>	<b>0.43</b>	<b>0.27</b>	<b>0.47</b>	<b>0.37</b>	-



Table 3. Indices and class of geo-accumulation index (Igeo), pollution load index (PLI) and sediment quality index.

Igeo		PLI		CCME-SQI		
Value	Class	Sediment quality	Class	Sediment quality	Class	Sediment quality
<0	0	Uncontaminated	<1	No pollution	0-44	Very poor
0-1	1	Unpolluted to moderately polluted	>1	Pollution exist	45-59	Poor
1-2	2	Moderately polluted			60-79	Fair
2-3	3	Moderately to highly polluted			80-94	Good
3-4	4	Highly polluted			95-100	Excellent
4-5	5	Highly to very highly polluted				
>5	6	Very highly polluted				

본 연구에서 분석한 AI 과 중금속 원소간의 상관관계 분석결과는 Table 2 에 나타났다. AI 은 As 만이 양호한 양(+)의 상관성을 나타내어 As 를 제외하고는 입도의 영향보다는 인위적인 오염의 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 나머지 중금속 원소는 AI 과 상관성이 없었으며 상호간에 유의한 양(+)의 상관성을 나타내고 있어 산업활동을 통한 오염의 영향을 받고 있는 것으로 나타났다.

시화호에서의 퇴적률은 0.38-2.41 cm/y 이었으며, 본 연구지역인 상류지역에서 가장 높은 퇴적률을 보이는 것으로 보고된 바 있다[12, 13]. 정점에 따라 차이는 있으나, 60~70 cm 퇴적 깊이에서 중금속 농도가 급격하게 증가한 결과를 보여, 반월 산업단지가 조성 및 운영된 1980년대 후반 오염이 심각하였음을 알 수 있었다. 또한 일부 정점 및 원소에서는 저층에서 표층으로 갈수록 농도가 증가하는 경향을 보이고 있어, 이들 산업시설을 통하여 중금속 오염이 꾸준히 진행되고 있는 것으로 판단된다. 이전 조사에서, 시화호 중앙해역 퇴적물 내 중금속 오염은 시화방조제 건설 및 배수갑문을 통한 외해수 유입의 영향으로 1970 년대에서 2000 년까지는 중금속 농도가 증가하다 이후 약간 감소하는 것으로 보고된 바 있다[13]. 본 연구지역인 시화호 최상류지역은 최근까지도 점차적으로 중금속 농도가 증가하고 있어, 배수갑문을 통한 외해수의 유입의 영향보다 주변에 위치한 산업시설을 통한 영향을 크게 받는 것을 알 수 있었다. 또한 소유역별 면적이 가장 큰 3 토구와 4 토구가 위치한 정점 C 와 D 에서 가장 높은 평균농도를 나타났다. 반월 스마트 허브에 위치한 토구를 통하여 비점오염의 형태로 중금속이 지속적으로 유입되어 퇴적되고 있음을 알 수 있었다.

정혜령, 김경태, 김은수, 이승용, 나공태

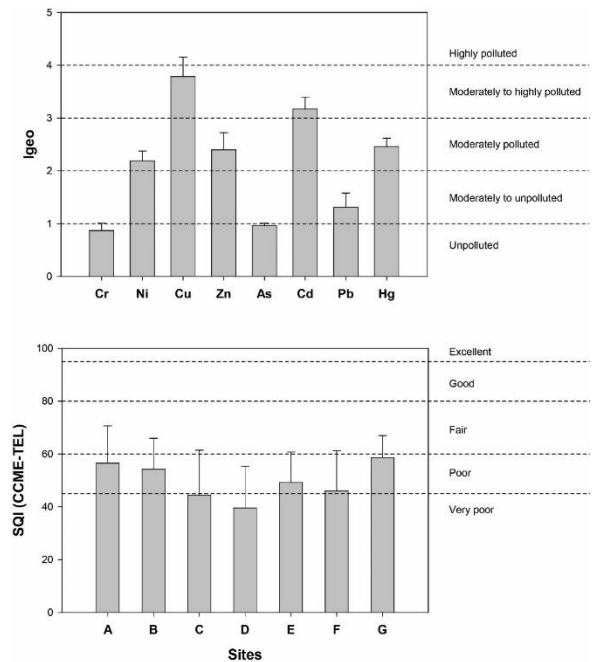


Fig. 4. Geo-accumulation index (Igeo) and sediment quality index (SQI) by the TEL value of Korea. Bars and error bars represent mean and standard deviation (1σ), respectively.

### III-2. 중금속 오염도 및 위해성 평가

퇴적물 코어시료의 중금속 오염도 평가를 위하여 농집지수(geo-accumulation index)를 사용하였으며 다음과 같은 식에 의하여 계산하였다 [14].

$$I_{geo} = \text{Log}_2 \left( \frac{C_n}{1.5 \times B_n} \right)$$

여기서  $C_n$  은 중금속의 측정농도이고  $B_n$  은 배경농도이며 상수 1.5 는 지각기원에 의한 영향을

보정하기 위하여 사용된 값이다. 본 연구에서 배경농도는 각각의 평균농도를 사용하였다[15]. 농집지수는 각각의 금속원소에 대해 총 7 개 등급으로 오염여부를 세분화한 것이다(Table 3).

Cu 와 Cd 은 moderately to highly polluted 상태였고, Ni, Zn, Hg 은 moderately polluted 의 오염상태를 보이고 있었다. Pb 은 moderately to unpolluted, Cr 과 As 는 unpolluted 의 등급으로 다른 원소에 비해 오염되지 않은 결과를 보였다(Fig. 4). Cu 는 정점 D 와 F 에서 highly polluted 의 상태로 다른 지역에 비해 Cu 의 오염이 컸음을 나타냈으며, 원소 및 정점에 따라 약간의 차이를 보였다.

농집지수는 중금속의 오염도를 개별적으로 평가하는 것으로 실제 해양퇴적물에 존재하는 다양한 중금속 원소에 대한 종합적인 영향을 고려하고 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 분석된 중금속 원소 중 퇴적물기준이 존재하는 8 개 원소(Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb, Hg) 에 대한 종합적인 오염을 평가하기 위하여 오염부하지수(PLI; Pollution Load Index)를 사용하였으며 다음과 같은 식에 의해 계산하였다 [16].

$$PLI = \sqrt[n]{(C_1/B_1) \times (C_2/B_2) \times \dots \times (C_n/B_n)}$$

$C_1 \sim C_n$  은 각 원소의 농도를  $B_1 \sim B_n$  은 각 원소의 배경농도를 나타내며 PLI 값이 1 보다 크면 인위적인 오염이 존재하는 것으로 나타낸다[16]. 배경농도는 농집지수와 마찬가지로 각각의 평균농도를 사용하였다[15]. 모든 조사지역 및 퇴적 깊이에서 PLI 가 1 을 초과하여 오염이 존재하는 것으로 나타났다. 정점 D 에서의 PLI 의 평균은 8.9 로 가장 높았으며, 정점 F 에 비해 1.5 배 높은 오염부하를 나타냈다. PLI 의 수직분포는 정점 F 에서만 저층에서 표층으로 갈수록 PLI 값이 감소하는 값을 보여, 시화호의 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 그러나 나머지 정점에서는 표층부터 저층까지 유사한 PLI 값을 보이거나 정점 C, E, F 는 저층에서 표층으로 갈수록 증가하고 있어, 산업시설을 통한 중금속 오염이 지속적으로 진행되고 있음을 알 수 있었다.

시화호 토구 앞 퇴적물 코어시료 내 중금속의 환경 및 생태계 위해성을 평가하기 위하여 우리나라 해양퇴적물 주의기준(Threshold Effect Level, TEL)과 관리기준(Probable Effect Level, PEL)과 비교를 실시하였다[17]. Cu 와 Zn 은 모든 시료(n=286)가 주의기준인 TEL 을 초과하였으며 이 중에 각각 38.5%와 49.7%가 관리기준인 PEL 을

초과하고 있었다. Pb 과 Cd 은 각각 97.2%와 76.2%의 시료가 TEL 을 초과하였으며 이 중 각각 8.7%와 2.8%는 PEL 을 초과하는 것으로 나타났다. Cr 과 Ni 은 각각 38.5%와 41.6%의 시료가 TEL 을 초과하였으며 정점 C-E 코어에서의 TEL 초과 빈도가 가장 높았다. Cr 의 경우, 38.5%의 시료가 TEL 을 초과하였으며 정점 C 와 D 의 코어에서 가장 많은 빈도로 TEL 을 초과하고 있었다. Hg 의 경우, 총 시료 중 16.4%만이 TEL 을 초과하고 있었으며 PEL 을 초과하지는 않았다. As 는 286 개 시료 중 4 개에 해당되는 1.4%만이 TEL 을 초과하였으며 이는 최상류지역인 정점 A 에서 peak 를 보인 퇴적 깊이에 해당되었다.

오염부하지수는 분석된 금속원소의 종합적인 오염부하 비교에는 장점이 있으나, 단순히 1 을 기준으로 오염여부를 판단하는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 분석된 중금속의 농도를 퇴적물 기준과 초과빈도(원소별) 및 몇 개의 원소가 얼마나 퇴적물 기준을 초과하는지를 고려한 캐나다 CCME (Canada Council of Ministers of the Environment)에서 제안한 수질지수를 활용하였고 우리나라 해양퇴적물 기준이 존재하는 8 개 원소에 대하여 TEL 을 적용하여 다음과 같이 계산하였다[17-20].

$$F_1 = \left( \frac{\text{Number of failed variables}}{\text{Total Number of variables}} \right) \times 100 = \text{Scope}$$

$$F_2 = \left( \frac{\text{mdnc}}{0.01\text{mdnc} + 0.01} \right) = \text{Amplitude}$$

$$\text{mdnc} = \frac{\sum_{i=1}^P \text{non-compliance}_i}{\text{Number of tests}}$$

$$\text{non-compliance}_i = \left( \frac{\text{failed test value}_i}{\text{guideline}_i} \right) - 1$$

mdnc = Mean degree of non compliance

P = Total number of guideline used

$$SQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2}}{\sqrt{2}} \right)$$

계산된 SQI 값은 총 5 단계로 구분된다(Table 3). 가장 유역 면적인 큰 토구 앞에서 채취한 정점 C 와 D 에서의 평균 SQI 값은 44.4 와 39.2 로 “very poor”의 상태로 나타났다(Table 1, Fig. 4). 나머지 정점에서의 SQI 값은 “poor”의 해당되는 등급이었다.

### III.3. 시화호 토구 앞 중금속의 퇴적량 파악

시화호 상류지역의 코어퇴적물을 채취한 토구 앞 해역 면적은 0.547 km<sup>2</sup>로 조사되었다. 본

연구에서 채취한 코어시료 깊이는 정점 D 가 92 cm 였으며, 정점 E 가 68 cm 로 정점에 따라 차이가 있었다. 따라서 68 cm 의 깊이로 퇴적되어 있다고 가정하였을 경우, 코어시료(12 cm 직경)의 평균 퇴적물량(건중량)이 3.357 kg 이었으므로, 도구 앞 해역에서의 퇴적물 총량은 162,536 ton 로 계산되었다. 이를 각 코어에서의 중금속의 평균 농도로 활용하여, 퇴적물 내 각 중금속이 존재하는 총량을 계산하면, Cr 18.50 ton, Ni 7.80 ton, Cu 22.84 ton, Zn 52.41 ton, As 1.72 ton, Cd 0.19 ton, Pb 12.69 ton, Hg 0.014 ton 이었다. 본 연구에서 분석한 8 개 중금속 중 Zn 이 45.1%로 가장 많은 부분을 차지하였고 Cu>Cr>Pb>Ni> As>Cd>Hg 의 순으로 존재하고 있었다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 산업시설이 인접한 해역에서 퇴적물 코어시료 내 중금속의 수직분포 특성을 파악하고 오염도 및 위해성 평가를 실시하였다. 분석 결과 정점 D 에서 Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, Hg 의 평균농도가 다른 정점에 비해 높았다. As 와 Cd 은 각각 정점 A 와 C 에서 가장 높은 평균농도를 보였다. 중금속의 수직 분포는 모든 정점에서 퇴적 깊이에 따라 급격한 농도의 증감을 보였으나, 정점 F 를 제외하고는 저층에서 표층으로 갈수록 농도가 증가하거나 표층과 저층간에 유사한 농도를 보여, 산업시설을 통한 지속적인 오염이 있음을 알 수 있었다. 농집지수와 오염부하지수를 활용하여 퇴적물 내 중금속 오염상태를 평가한 결과, Cu 가 가장 오염되었으며 Cd>Hg>Zn>Ni> Pb>As>Cr 의 순으로 Cr 과 As 는 오염도가 크지 않은 것으로 나타났으나, 모두 PLI 값이 1 을 초과해 인위적인 오염이 존재함을 알 수 있었다. 우리나라 해양퇴적물 기준과 비교를 실시한 결과, Cu, Zn 과 Pb 은 97% 이상이 Cd, Cr, Ni 은 38~70%가 주의기준을 초과하였고 As 는 대부분이 TEL 이하의 수준으로 나타났다. 본 연구에서 분석된 8 개 원소를 TEL 을 기준으로 퇴적물 질적평가를 실시한 결과, 산업단지 인근 퇴적물은 “poor”에서 “very poor”의 심각한 상태임을 알 수 있었다. 또한 이들 지역에는 퇴적물 내에는 매우 많은 양의 중금속이 퇴적되어 있으며, 과거부터 현재까지 산업활동을 통한 인위적인 중금속 오염의 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있었다.

#### 사사

본 연구는 한국해양과학기술원 “금속 안정동위원소를 활용한 오염원 추적연구 (PE99502)”의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

정혜령, 김경태, 김은수, 이승용, 나공태

퇴적물 코어 채취에 도움을 주신 조진행 선생님께 감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] 해양수산부 2014, 시화호 해양환경 개선 사업, BSPG 48391-10564-4.
- [2] 김경태, 김은수, 조성록, 박준건, 박청길 2003, 시화호 및 주변 하천 표층 퇴적물의 중금속 분포 변화, Ocean Polar Res., 25(4), 447-457.
- [3] 김경태, 김은수, 조성록, 정경호, 박준건 2005, 시화호 환경 중의 중금속 분포 특성과 오염, 한국해양환경공학회지, 8(3), 148-157.
- [4] K.T. Kim, E.S. Kim, S.R. Cho, and J.K. Park 2009, “Distribution and Temporal Change of Heavy metals in the Surface Sediments of Lake Shihwa and the Adjacent Sea, Korea,” J. Coastal Res., vol. SI 56., pp. 817-821.
- [5] 나공태, 김경태, 김종근, 방재현, 이정무, 김성근, 김은수, 윤민상, 조성록, 2011, 시화호 유역 비점오염물질의 유출특성 및 부하량 연구, 한국해양환경공학회지, 14(1), 40-50.
- [6] 나공태, 김종근, 김은수, 김경태, 이정무, 김성근, 김의열, 이승용, 박은주, 2013, 수질평가지수를 이용한 시화호 내측 및 외측 해역의 시·공간적 수질 변화 평가: 조력발전소 가동에 따른 영향 연구, 한국해양환경·에너지학회지, 16(2), 102-114.
- [7] 정혜령, 김경태, 김은수, 나공태, 이승용, 2016, 시화호 유역 하천 퇴적물에서 의 중금속 오염도 평가에 관한 연구, 한국해양환경·에너지학회지, 19(1), 25-36.
- [8] US EPA, 1998, “EPA’s Contaminated Sediment Management Strategy,” Office of Water, United States Environmental Protection Agency, USA.
- [9] 김건하, 정우혁, 2005, 低泥 캡핑(Sediment Capping)을 활용한 오염퇴적물의 효율적인 처리, 대한토목학회지, 53(5), 122-127.
- [10] 나공태, 김은수, 김종근, 김경태, 이정무, 김의열, 2013, 시화호 코어 퇴적물 내 미량금속 분포 특성 및 오염 평가, Ocean Polar Res., 35(2), 1-15.
- [11] H.L. Windom, S.J. Schropp, F.D. Calder, J.D. Ryan, R.G. Smith, L.C. Burney, F.G. Lewis, and C.H. Rawlinson, 1989, “Natural trace metals concentrations in estuarine and coastal marine sediments of the southeastern United states,” Environ. Sci. Technol., vol. 23., pp. 314-320.

- [12] S. Hong, E.J. Won, H.J. Ju, M.S. Kim, K.H. Shin, 2010, "Current nonylphenol pollution and the past 30 years record in an artificial Lake Shihwa, Korea," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 60., pp. 303-313.
- [13] K. Ra, J.H. Bang, J.M. Lee, K.T. Kim, E.S. Kim, 2011, "The extent and historical trend of metal pollution recorded in core sediments from the artificial Lake Shihwa, Korea," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 62., pp. 1814-1821.
- [14] G. Muller, 1969, "Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River," *Geol. J.*, vol. 2., pp. 108-118.
- [15] R.L. Rudnick and S. Gao, 2003, "Composition of the continental crust, In: Rudnick, R.L.(Ed.), *The Crust Treatise on Geochemistry*," Elsevier, Oxford, pp. 1-64.
- [16] D.C. Tomlinson, J.G. Wilson, C.R. Harris, and D.W. Jeffrey, 1980, "Problems in the assessment of heavy metals in estuarines and the formation pollution index," *Helgoland Mar. Res.*, vol. 33., pp. 566-575.
- [17] 해양수산부, 2013, 해양환경관리법 제 8 조에 따른 해양환경기준.
- [18] CCME, 2001, "Canadian water quality guidelines of the protection of aquatic life: Canadian Water Quality index 1.0 Technical Report, In Canadian environmental quality guidelines," 1999, Winnipeg, Manitoba.
- [19] L. Garpentine, C. Marvin, and S. Painter, 2002, "Initial development and evaluation of a sediment quality index for the Great Lakes region," *Hum. Ecol. Risk Assess.*, vol. 8., pp. 1549-1567.
- [20] C. Marvin, L. Garpentine, and S. Painter, 2004, "Application of a sediment quality index to the lower Laurentian Great Lakes," *Environ. Monit. Assess.*, vol. 91., pp. 1-16.



# 진해만 서부해역 내만의 퇴적물 오염에 의한 저층 빈산소 영향

## Effect of Bottom-layer Hypoxia on the Contaminated Sediment in the Western Inner Bays of Jinhae Bay System, Korea



Journal of Korean  
Environmental  
Dredging Society

김수곤 <sup>1,\*</sup>, 정우성 <sup>1)</sup>, 안순모 <sup>2)</sup>

Soo-Gon Kim <sup>1,\*</sup>, Woo Seong Jeong <sup>1)</sup>, Soonmo An <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(주)신대양 해양환경기술사업본부

<sup>1)</sup>Division of Marine Environmental Technology & Business, Sindaeyang  
Company, Kimhae 50805, Republic of Korea

<sup>2)</sup>부산대학교 해양학과

<sup>2)</sup>Department of Oceanography, Pusan National University, Busan, Korea

\*: 교신저자(김수곤: [ulsanket@hanmail.net](mailto:ulsanket@hanmail.net), Tel. +82-55-326-9546)

### Abstract

The optimal sediment remediation techniques for the western inner bays (Dangdong) of Jinhae Bay, Korea were studied. We performed selective removal of contaminated surface sediments and analysis of environmental improvement effect after spraying sand and sediment remediation agent from April 2015 to December 2016. In 2015, sediment oxygen demand of core samples was measured after 18 days of treatment with sand (1.73 Φ) or sand + microbial agents. In 2016, these treatments were done directly on the test-bed sediments. The combined effects of environmental dredging, sand capping and application of microbial agents were found to be outstanding for the sediment remediation in Jinhae Bay.

**Keywords:** Jinhae Bay, hypoxia, sediment remediation, sediment oxygen demand

### I. 서론

진해만을 포함한 우리나라 연안은 1960년대부터 최근까지 국가적으로 경제개발 계획, 4대강 유역종합 개발, 농지확보 및 임해 산업단지 조성 등 대규모 국책사업기지와 간척의 주요한 대상이었다(Hong *et al.*, 1991; Cho *et al.*, 1998; KIMST, 2016). 그리고 이 시기부터 식량자원의 확보 차원에서 수산양식 업의 발달이 시작되었을 뿐만 아니라 점진적으로 대형화 추세가 되어 현재까지 이르고 있다. 이로 인해 조간대 갯벌의 자연 해변이 많이 줄었고,

인위적인 해안지형의 구조변화를 불가피하게 겪게 되었다(KIMST, 2016). 또한, 수질 및 퇴적환경의 오염도 증가는 도시화, 인구집중 및 양식장 장기운영 등 내·외적 복합요인에 기인하는 영양물질의 과잉 부하에 의해 빠른 속도로 진행되었다(Park, 1975; Cho *et al.*, 1998; Kwon *et al.*, 2014). 특히, 내만의 반폐쇄 해역은 외해(예, 대양)에 비해 해수유동 순환이 원활하지 않아서 적조, 빈산소 및 퇴적물 영향 관련한 수질 부영양화에 매우 취약할 수밖에 없었다(de Jonge *et al.*, 2002). 진해만의 경우, 적조(赤潮, red-tide)는 1962년에 진동만에서 최초로 발생하였고,

김수곤, 정우성, 안순모

빈산소는 1970년대 중반부터 처음 관측된 후 매년 상승적으로 반복되고 있다(Park and Kim, 1967; Cho, 1978, 1979; NFRDI, 2009; KIMST, 2016).

이것은 우리나라를 포함하여 전 세계의 연안과 해양에서 겪고 있는 인위적 오염의 가시화된 반응이며 주로 반폐쇄성 해역(내만)에서 문제가 되고 있다(Diaz and Rosenberg, 2008; Levin *et al.*, 2009; NFRDI, 2009; KIMST, 2016). 무엇보다 빈산소가 발생하게 되면 우선적으로 저서생태계에 서식하는 생물상을 절멸 상태(예, dead zone)로 변화시켜 사회, 경제 및 환경적 악영향을 순식간에 파급시키게 되는 극도의 심각성을 야기하게 된다(Levin *et al.*, 2009; NFRDI, 2009). 그 뿐만 아니라 퇴적층에 축적된 유기물 또는 사멸한 생물체의 미생물 분해작용에 의한 영양염 용출로서 내부 오염부하를 가중시켜 수질 부영양화는 더욱 증폭되는 결과를 초래하게 된다(Conley *et al.*, 2009; Diaz and Rosenberg, 2008; Vaquer-Sunyer and Duarte, 2008; Steckbauer *et al.*, 2011). 따라서 이에 대한 원인과 과정을 이해하는 것 뿐만 아니라 완화 또는 해결하려는 연구 노력은 반드시 필요하다(Zhang *et al.*, 2010).

진해만에서 빈산소에 관한 연구는 구조, 분포, 변동 및 모델링을 중심으로 다양하게 수행되었으며(Lee, 1993; Choi *et al.*, 1994; Lee *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2010), 그 외 수질환경과 성층 발생기작 규명을 위한 조사 때 관찰된 내용으로서 다수 언급되었다. 그리고 오염퇴적물에 관한 조사연구는 과거부터 목적에 따라 다양한 형태로 수행되었다. 1962년에 진동만 에서 발생한 적조 연구를 시작으로(Park and Kim, 1967), 1970년대 후반부터 적조가 더욱 빈번하게 발생하면서 다른 지역에 비해 활발하게 이루어 졌다(Cho, 1978, 1979, 1981; Lee *et al.*, 1981).

본 연구는 우리나라 연안에 위치한 주요 만(灣) 중 전형적인 반 폐쇄성 해역으로 잘 알려진 진해만의 서부 내만 수역에서 봄철~가을철에 매년 발생하는 빈산소 수괴를 해소하기 위한 일환으로 오염된 퇴적물 관련 기초자료를 확보하고자 수행되었다.

빈산소(hypoxia,  $<2.88 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ ,  $2.0 \text{ ml O}_2 \text{ L}^{-1}$ )는 수(퇴적)층에서 발생할 수 있는 산소 결핍 또는 고갈 현상으로써 전형적인 부영양화의 결과 중 하나에 해당한다(Conley *et al.*, 2009; Diaz and Rosenberg, 2008; Vaquer-Sunyer and Duarte, 2008; Steckbauer *et al.*, 2011). 토양이나 지하수에서 전자방출은 유기물이 미생물 등에 의해 산화 분해되거나, 분해된 물질이 간극수를 통해 용출, 토양입자 표면에 흡착, 제거되는 작용에 매우 중요하다. 자연계에 존재하는 토착미생물을

활성화하고 과학적인 저질정화 효과를 얻기 위해 장시간에 걸쳐 전자를 소량씩 방출하는 안정된 산화제나 산소 발생제(Oxygen Release Compounds :ORC)를 투입하거나 또는 물리적으로 전자를 방출시켜 토양계면과 토양 간극수에서 일어나는 높은 전위(redox potential)를 확산시키는 방법이 많이 사용된다. 최근까지 미국에서 약 6500여 곳의 오염된 지역에 사용되었고, 현재 12개국에서 저질층 정화 회복에 이용되고 있다. 본 연구에서 사용된 퇴적물 개선제는 호기성 미생물을 보다 활성화시켜서 혐기적 환경에서는 그 환원반응에서 전자 에너지가 방출되어, 산소공급과 더불어 통기성 및 호기성 균집구조로 변화시킨다. 이러한 산소 공급은 현장 적용성과 처리 안정성이 확보되고, 회색시간을 단축시킬 수 있을 뿐만 아니라 다양한 오염 환경에 적용이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 퇴적물개선제는 반폐쇄적이고 오염이 심화된 연안 저층의 오염물질 생분해(biodegradation) 촉진과 더불어 연안 저질의 생태계 회복을 향상시키기 위한 생물정화기술(bioremediation techniques)의 한 방법이다. 퇴적물개선제의 종류에 따른 현장 환경 특성 변화와 유용성 미생물 재제와의 효율성 비교, 용출 특성과 함께 미생물의 균집 변화도를 관찰함으로써 처리기술이 연안 퇴적층 내에서 어떤 작용을 하는지에 대해 생태학적 측면에서 규명하고 처리효율을 높이고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 조사지 개황

우리나라 남해 연안은 해안선이 불규칙하여 복잡한 리아스식 해안으로 이루어져 있고, 파랑이 작으나 내만을 제외하고 해수유동이 비교적 원활한 해역이다(Hong *et al.*, 1991). 진해만은 남해안의 동쪽에 위치하고 있으며, 동서는 가덕도 동두말~거제대교, 남북은 마산만 (내만) ~장승포시 양지에서 경계가 된다(Fig. 1). 가덕도 서측의 가덕수로에서 동북부는 행암만, 마산만 및 진동만, 서남부는 당항포만, 당동만, 원문만 및 고현성만으로 이어지는 복잡한 해안선으로 이루어져 있다(Hong *et al.*, 1991). 따라서 가덕수로와 견내량수로(해협)가 외해와 연결되는 폐쇄성이 강한 내만으로서 국내에서 대표적인 반폐쇄성 연안해역이다. 진해만의 면적은  $497 \text{ km}^2$ 이고, 연안 주변 영향권의 유역면적은  $1,008 \text{ km}^2$ 에 달한다(Cho *et al.*, 1998). 마산측후소에서 관측된 최근 10년간 연평균 기온은  $14.8^\circ\text{C}$ 이고, 강수량은  $509 \text{ mm}$ 이었다(<http://www.kma.go.kr>).

한국환경준설학회지 제 5 권 1 호 2017 년 3 월

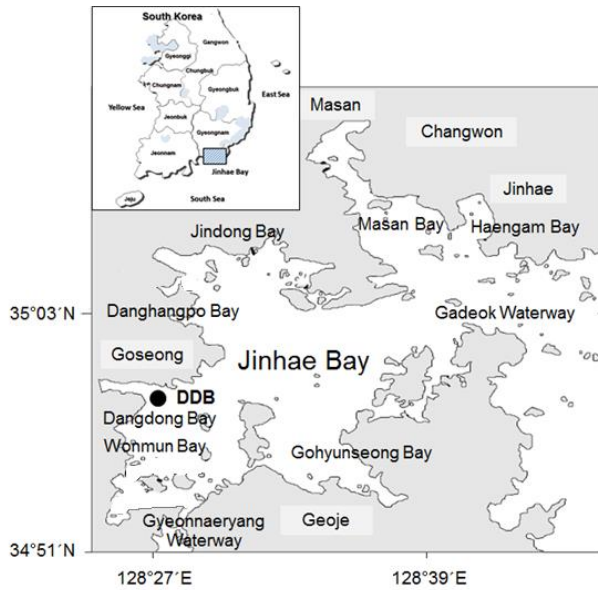


Fig. 1. Jinhae Bay, Korea

유역인구는 약 110만명이고, 그 중에서 창원시 도시인구가 총인구의 81%를 차지한다(Cho *et al.*, 1998). 해수교환은 대부분 가덕수로를 통해 일어나고 있기 때문에 내만의 수괴구조는 가덕수로(86~ 90%)에서 유입하는 해수에 의해 영향을 크게 받으며, 부분적으로 견내량수로(10~14%)를 통해서도 이루어진다(Chang *et al.*, 1993; Jung, 1996). 조석주기는 뚜렷한 반일주조이며, 창조시 가덕수로로 유입된 해수는 잠도 부근에서 북서진하여 주류는 서부해역으로 유입 된다(Chang *et al.*, 1993; Lee, 1993). 최대 유속은  $1.41 \text{ m s}^{-1}$ 로서 만 외부로의 해수유동이 우세하고, 상층에서 조석은 바람의 영향을 크게 받는다. 낙조시에는 반대방향으로 창조시보다 크게 나타난다. 일 조차는 대조시 2 m, 소조시 1 m 내외이다(Chang *et al.*, 1993). 만 내의 최대 유속은 수도 중앙과 서부해역의 4 m의 상층에서 나타나고, 최대 유입 및 유출속도는 각각  $0.24 \text{ m s}^{-1}$ ,  $0.15 \text{ m s}^{-1}$ 이다. 반면에, 하층에서 유속은  $0.02 \text{ m s}^{-1}$ 에 불과하여 매우 약하다(Chang *et al.*, 1993; Jung, 1996). 만 내의 수심은 동부 거제도 북단에서 50 m에 이르나, 북서남부는 대부분 10~20 m 정도 되는 천해로서 해안선의 굴곡이 심하고, 외해역과 차단되어 있으므로 태풍 등 자연재해를 막을 수 있을 뿐만 아니라 육지로부터 적절한 영양염의 공급으로 먹이생물이 풍부하다(Chang *et al.*, 1993).

과거에는 천해의 정치망 및 권현망 어장이었을 뿐만 아니라 멸치, 대구 등 각종 수산

생물의 최적 서식처 및 산란장이었고, 굴, 진주담치, 피조개 및 미더덕 등의 양식 산업(진해만 총면적의 7.5%)도 활발히 이루어졌다(GSNDP, 1997). 그러나 1960년대 이후 진해만 인근 연안유역 내에 마산산업단지, 창원공단 등 임해공업단지가 들어서면서 급격한 도시화가 진행되었고, 공장폐수와 생활하수 등에 의한 육상 기원성 외적 오염부하와 한정된 수역에 밀집한 다종다양한 양식생물 배설물에 의한 해역 내적 오염부하가 만 내의 자정능력의 한계를 초과하여 부영양화가 가속화되었다(Park and Kim, 1967; Park, 1975; Cho, 1979; Yang *et al.*, 1983; Hong *et al.*, 1991; Lee, 1993; Cho *et al.*, 1998). 또한, 주기적인 항로준설로 인한 간석지의 소실과 해저질의 개변은 더욱 수질악화를 가중시키게 되었다(Hong *et al.*, 1991). 그 결과, 진해만은 부영양화 해역으로 변하여 지난 1970년대 이래 적조와 빈산소 수괴가 거의 매년 발생하기에 이르렀고(Lee, 1993; Cho *et al.*, 1998), 그 결과 어장으로서 산업·생태적 기능이 크게 위협받고 있는 실정에 있다(Kwon *et al.*, 2014).

특히, 진해만은 반폐쇄성 해역이지만 기상 조건에 따라서 해황의 변동도 다소 심한 곳이다. 동부~중앙수역은 외양과 내만의 혼합 정도가 커서 난류의 형성이 보고되고 있으나(Cho *et al.*, 1998), 남·북부 및 서부해역은 수심이 얇고, 해수유동이 약하여 조류의 소통이 원활하지 않은 특성을 보이고 있다. 따라서 굴, 진주담치, 피조개 등 패류양식이 성행하여 수산자원을 위한 연안관리가 중요한 해역이나, 오랜 양식산업 활동으로 오염물질의 과다 축적과 퇴적층의 저질환경의 악화로 환경용량이 초과하여 시간이 경과 하면서 오염이 심화(황폐화)되고 있는 대표적 해역이다(Lee, 2006; KIMST, 2016).

## 2. 기초 수질환경 조사

진해만 서부해역의 주요 내만을 중심으로 한 수질환경 조사는 2015년 1월부터 2016년 1월까지 수행되었다. 조사지점은 당동만(Dang dong Bay, DDB) 10개 지점에서 매월 1회씩 조사하였다(Fig. 2).

조사지점의 수심이 어느 정도 유지되는 만의 입구(bay-mouth)를 공통적으로 선정하였고, 현장 조사 및 채집은 소형 선박을 이용하였다. 수온, 용존산소(dissolved oxygen, DO), pH, 염분도 및 탁도는 YSI-6600 UMG meter로서 상·하층에서 각각 측정하였고 조사 전에 실험실에서 매번 센서를 보정한 후 사용하였다.



Fig. 2. Study area and sampling locations in Dangdong Bay, Korea

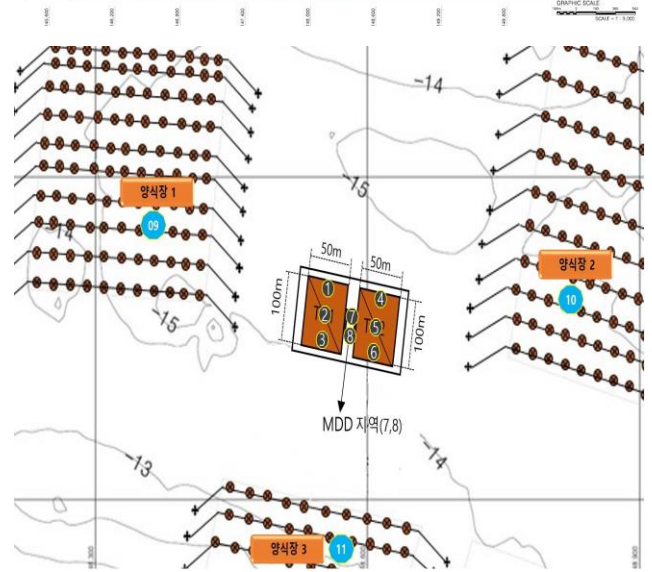
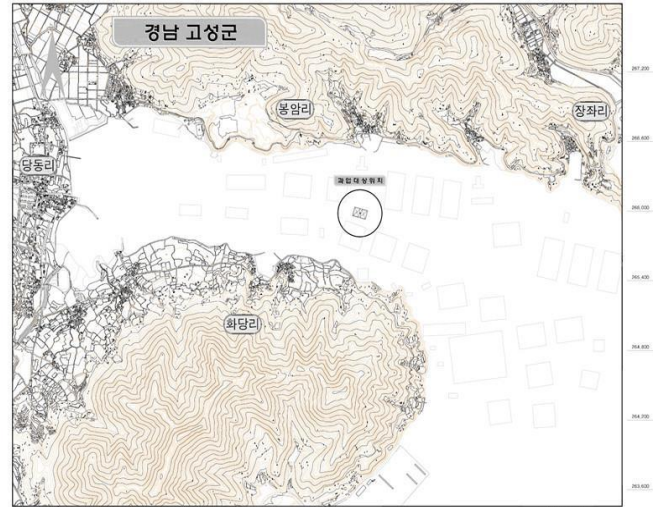


Fig. 3. Sampling locations of sediment core samples (1~11) in Dangdong Bay, Korea

### 3. 저서환경조사

저서환경 조사는 2015년 1월 ~ 2016년 12월까지 11회에 걸쳐 표층퇴적물, 주상퇴적물 시료를 채취하였다. 표층퇴적물 환경 요인 분석을 위해서는 van Veen Grab으로 채취한 퇴적물 중 표층퇴적물을 요인별로 분석 저장 용기에 담은 후 드라이아이스로 냉동 보관하였다.

당동만의 테스트베드 해양퇴적물 오염도를 파악하기 위하여 2016년 1월 5일과 8일에 Benthic lander에 투명 아크릴 코어(내경, 8 cm; 높이, 33cm)를 장착하여 11개의 퇴적물 주상시료를 채취한 후에 냉장 보관하여 분석하였다(Fig. 3) 수중 잠수사를 동원하여 퇴적물을 교란 없이 주상시료를 코어로 연직채취하고, 현장에서 표층부위인 OOZE층과 중층, 하층부위별 시료를 나누어 즉시 냉동 보관하여 층별 물리화학적 환경특성을 조사 분석 하였다. 퇴적물의 pH는 pH Spear, Oakion으로 현장에서 직접 측정하였다.

표층퇴적물 입도분석은 다음과 같은 과정으로 실시되었다. 선처리 과정으로 약 5g 정도의 퇴적물 시료를 100 ml 비이커에 넣고 10% 과산화수소와 0.1N 염산을 차례로 첨가하여 유기물과 탄산염을 완전히 제거하였다. 중류수를 이용하여 과산화수소와 염산을 세척, 제거한 후, 63 $\mu$ m 체로 습식체질(wet sieving)하여 조립질 시료와 세립질 시료로 분리하였다. 조립질 시료는 110 $^{\circ}$ C에서 24시간동안 건조시킨 후 1 $\phi$  간격으로 입도 별 중량을 구하였다. 세립질 시료는 X-선 자동 입도 분석기인 sedigraph 5100으로 분석하여 입도의 백분율을 산출하였다. 분석 시 입자의 응집을 방지하기 위해 확산제로 칼콘(0.1%)을 첨가하였고 입자의 크기는 1 $\phi$  간격으로 분석하였다. 세립시료와 조립시료의 각 구간에서 무게 백

분율을 측정 후 퇴적물의 평균입도, 분급 등의 통계적 입도 변수는 Folk & Word (1957)의 공식을 사용하여 계산하였다.

표층퇴적물의 총유기탄소함량(Total organic carbon, TOC)은 전남대학교 공동실험 실습실에 의뢰하여 분석하였다. 표층퇴적물의 유기물함량은 강열감량법(loss on ignition, LOI; %)을 이용하여 분석하였다. 미리 건조하여 중량을 측정해 둔 도가니에 10g의 시료를 넣고 습중량을 측정하고, 110 $^{\circ}$ C의 건조기에서 6시간이상 건조시켜 시료의 건조중량을 측정한다. 건조된 시료는 고온전기로를 이용하여 550 $^{\circ}$ C에서 4시간동안 가열하여 유기물을 회화시켰다.



회화된 시료는 고온전기로 내에서 일차 방냉한 후 데시케이터 안에서 실온까지 방냉하고 같은 저울을 이용하여 회분 제거 건중량(ash free dry weight, AFDW; g)을 측정하였다. 이상의 과정에서 나타나는 무게 손실량을 원래 무게인 건중량에 대한 백분율로 계산하여 퇴적물 내 유기물 함량(%)을 산출하였다.

산 휘발성 황화물량 측정(acid volatile sulfide, AVS)은 황산 산성 하에서 황화수소를 추출시켜 검지관법으로 측정하였다. 시료를 가스 발생관에 넣고 Gastec 검지관을 가스발생관 및 흡인 펌프로 연결한 후 황산용액(sulfuric acid) 2ml를 피펫을 이용하여 넣은 후, 흡인 펌프를 잡아 추가한 황산이 퇴적물 시료 내 황화물을 발생시키도록 한 후 Gastec검지관의 변색위치가 멈출 때까지 펌프를 잡아당긴 후 변색 층의 눈금 값을 측정하여 산 휘발성 황화물량을 계산하였다.

저서미세조류의 생물량은 표층퇴적물 내 함유된 Chlorophyll a (Chl-a)량으로 추정하였다. Chl-a량을 측정하기 위하여 각 정점의 표층 퇴적물을 2회씩 채취한 후 아이스박스에 보관하여 실험실로 운반하였다. 시료는 95% acetone 40ml를 넣고 24시간 냉장보관하면서 3 ~ 4회 진탕하여 엽록소가 충분히 추출될 수 있도록 하였다. 정점별로 엽록소를 10ml씩 추출 후 원심관에 주입하고 RPM 3500에서 15분간 원심 분리 한다. 그 후 상등액을 1 cm cell에 취하여 이를 분광광도계 (Kontron Co., UVI-KON922)를 이용하여 665 nm 및 750 nm에서 흡광도를 측정하고 2N HCl로 처리한 후 다시 665 nm 및 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. Lorenzen (1967)의 식에 따라 퇴적물 단위 체적당 Chl-a 량 및 phaeo-pigment 량을 계산하였다

저서동물군집 채집을 위해 각 정점에서 퇴적물을 Van Veen Grab (입구면적 0.1 m<sup>2</sup>)으로 2회씩 반복 채집하였다. 채집된 퇴적물은 1 mm 체(sieve)로 체질한 후, 체에 남은 잔존물은 10% 중성포르말린 용액으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 시료는 저서동물만을 선별한 후, 실체현미경(Carlzeiss Stemi SV6)과 광학현미경(Nikon Eclipse 50i)을 사용하여 저서다모류를 가능한 중 수준까지 동정하고 계수하였고 면적 당 출현개체수로 환산하였다.

#### 4. 오염퇴적물의 선택적 제거

본 연구에서는 퇴적오염층의 조사 분석 자료를 바탕으로 산소소모가 많은 층을 선택적

으로 제거하기 위한 범위를 정하였으며, 수중 잠수사와 어장 정화용 선박을 이용하여 교란을 최소화하여 제거하였다.

그리고 표층퇴적물의 OOZE층을 선택적으로 제거하기 위하여 유기물이 많은 니질 퇴적토를 진공흡입펌프로 두께 5 ~ 20 cm를 환경준설 하였다. 제거한 준설물질은 정화선박 내 물리, 화학, 생물학적 처리장치를 도입하여 이를 통해 직접 처리하였다. 시료 채취 하는 해역의 2차오염 영향을 근원적으로 방지 하도록 노력을 하였다.

본 연구에서는 퇴적물을 교란 없이 방법으로 주상시료를 연직채취하고, 현장에서 표층부위인 OOZE층과 중층, 하층부위별 시료를 나누어 즉시 냉동 보관하여 층별 물리화학적 환경특성을 조사 분석 하였다. 산소소모가 많은 퇴적물에서는 생지화학적 소모의 결과로 각각의 요인들이 서로 긴밀하게 연관되어 있으므로 종합적인 측정이 필요하여 현장에서 직접 퇴적물 주상시료를 가져와 실내실험에서 SOD를 측정하였다.

퇴적층을 제거하기 위한 법적 근거를 위해 해양환경관리법 제18조, 같은 법 시행령 제24조 및 시행규칙 제9조의 규정 등 해양오염퇴적물 조사 및 정화·복원 범위 등에 관한 규정과 어장관리법 2조5호 나목 수산생물 서식 어장환경기준에 따른 평가도 수행하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### I. 조사지 개황

조사해역 저서환경의 공간분포 특성을 파악하기 위해 저층수를 대상으로는 수온, 염분, 용존산소(DO), 수심을, 표층퇴적물을 대상으로는 표층퇴적물 입도, 총유기탄소함량(TOC), 유기물 함량(LOI), 수소이온농도(pH), 산 휘발성 황화물량(AVS), 저서미세조류 생물량(Chl-a, phaeo-pigments) 측정을 하였다(Table 1).

2015년 1월 ~ 2016년 12월까지 11회에 걸쳐 조사한 당동만의 저서환경은 Table. 1과 같으며, 이를 도표로 표시하면 Fig. 4와 같다. 저층수의 수온은 온대지방의 계절 변동 양상을 따르고 있다.

즉 동계에 수온이 낮고 하계에 높았다. 8월과 9월에 평균수온이 23 ~ 24℃ 정도로 가장 높았고, 1월과 2월이 6 ~ 7℃ 정도로 가장 낮았다.

Table 1. Summary of chemical and physical data on the benthic environments during January 2015 ~ December 2016.

	2015							2016			
	JAN	APR	JUN	JUL	AUG	SEP	NOV	JAN	FEB	JUL*	DEC*
Depth (m)	7.07±3.29	8.53±4.49	9.10±4.25	15.63±1.35	15.60±1.22	15.96±1.34	15.76±1.21	14.73±0.92	13.46±5.00	16.10±3.00	15.60±2.64
Temp.(℃)	6.33±0.06	10.58±0.25	16.34±2.56	20.38±1.48	23.94±0.59	23.66±0.04	17.80±0.00	7.30±0.24	5.96±0.04	20.68±1.55	12.89±0.70
DO ( mg O <sub>2</sub> /L)	7.42±0.36	6.89±0.34	3.67±0.32	0.31±0.08	4.96±0.64	5.07±0.23	6.30±0.24	10.19±0.07	9.66±0.12	3.22±1.48	9.09±0.67
pH	7.10±0.18	7.39±0.08	7.41±0.11	7.48±0.04	7.20±0.09	7.09±0.07	7.59±0.01	7.09±0.16	6.87±0.29	6.93±0.22	6.93±0.20
TOC (%)	2.15±0.44	2.06±0.57	2.00±0.26	3.03±0.62	3.34±0.47	4.02±1.42	3.16±0.79	3.42±0.51	3.51±0.54	3.27±0.45	3.34±0.84
LOI (%)	10.71±1.33	11.14±1.89	11.79±1.09	13.93±0.99	15.45±1.18	15.34±2.77	12.76±1.38	13.41±1.28	13.69±1.00	14.02±0.89	12.69±1.83
AVS (mgS/g-dry)	0.38±0.20	0.84±0.57	0.33±0.11	0.78±0.23	0.98±0.42	1.28±1.39	0.68±0.35	1.04±0.47	0.85±0.37	0.77±0.43	0.86±0.29
Chl.-a ( μg/cm <sup>3</sup> )	3.96±1.91	2.62±1.92	0.69±0.96	3.96±1.91	0.94±0.50	7.46±3.49	0.69±0.67	3.27±4.17	4.56±3.52	3.92±3.04	3.97±1.87
Pheo-pigment(μg/cm <sup>3</sup> )	27.16±9.89	26.63±14.76	21.46±7.19	27.16±9.89	39.86±16.12	21.21±6.25	30.25±6.37	18.02±9.59	25.78±12.06	54.82±10.02	62.84±23.41
M. Grain Size	8.51±1.25	7.75±1.34	7.94±0.94	9.05±0.27	9.29±0.60	9.10±0.28	9.21±0.17	8.68±1.13	9.05±0.22	9.48±0.51	9.72±0.73
Sand contents(%)	7.54±10.65	9.12±8.17	5.68±7.44	3.84±3.06	3.13±2.36	2.04±1.44	1.23±0.37	5.14±6.93	3.94±2.10	3.64±3.24	5.21±4.50

저층수의 DO 농도는 수온과 반대의 계절변동을 보여주었다. 즉 수온이 높은 하계에는 DO가 낮은 값을, 수온이 낮은 동계에는 DO가 높은 값을 보였다. 2015년 7월에 평균 DO가 0.31 mgO<sub>2</sub>/L에 불과하였으며, 2016년 1월에는 평균 10.19 mgO<sub>2</sub>/L의 값을 보였다. 2015년 6월부터 일부 조사 정점에서 빈산소 수괴(hypoxia)가 나타나기 시작하여, 2015년 7월에는 거의 대부분의 조사정점이 빈산소 수괴 상태에 놓여 있었다. 2015년 8월에 DO 농도가 상대적으로 높은 값을 보이는 것은 ‘태풍 고니’ 상륙 직후에 현장조사를 실시하여 저층수의 물리적 교란이 심하였기 때문으로 보인다.

저층 퇴적물의 경우, 표층퇴적물의 평균입도는 9.0 φ 정도의 수준으로 매우 세립질 퇴적물로 구성되어 있다. 퇴적물 내 사질 함량 역시 4% 정도의 수준으로 퇴적물은 Silt와 Clay의 니질 퇴적물로 구성되어 있다. 표층퇴적물의 총유기탄소함량(TOC)은 계절 변동이 심하지는 않으나, 하계 고수온기에 상대적으로 높은 값을 보이고 있다. 평균적으로 3-4% 수준의 비교적 높은 값을 보이고 있다. 표층퇴적물의 강열감량(LOI) 역시 하계 고수온기에 상대적으로 높은 값을 보이고 있으며, 연중 12% 이상의 상당히 높은 값을 보이고 있다. 퇴적물이 사질함량이 극히 낮은 니질 퇴적물로 구성되어 있기 때문에 퇴적물 내 유기물 함량이 높은 값을 보이는 것이 보편적인 현상이지만, 당동만의 TOC와 LOI는 한국 연안역의 세립질 퇴적환경에서 보이는 값보다 월등히 높은 값이다.

당동만은 전반적으로 퇴적물 내 비자연적인 주변 환경으로부터의 인위적인 유기물 집적이 매우 심하게 이루어지고 있는 해역이라고 볼 수 있다.

이는 산 휘발성황화물(AVS) 에서도 잘 나타나고 있다. 연중 평균 0.5 mgS/g-dry 이상의 값을 보이고 있으며, 심할 경우 1.0 mgS/g-dry 이상의 값을 보이는 등 AVS도 상당히 높은 값을 연중 유지하고 있다. 퇴적물의 pH는 연중 변화가 심하지는 않으나, 2016년 이후 7.0 이하의 약산성을 띄고 있는 것이 특이한 현상이다. 퇴적물내 저서미세조류의 생물량을 의미하는 엽록소-a량과 phaeo-pigment 량은 뚜렷한 계절 변동 양상을 보이지는 않았다. 저서미세조류의 엽록소-a 량은 대체적으로 4.0 정도의 수준을 보이지만, 조사시기에 따른 변동이 심하였다. phaeo-pigment 량은 2015년에는 25-30 μg/cm<sup>3</sup> 정도의 수준 이었는데, 2016년 7월과 12월에는 60 μg/cm<sup>3</sup> 수준으로 그 양이 크게 증가하였다.

## 2. 퇴적물 오염현황

오염퇴적층을 선택적으로 제거하는 방법은 현 현장 오염퇴적물의 분포를 파악하여 실시하였다.

진해만의 대표적인 빈산소 해역인 당동만의 오염퇴적물 주상시로 분석결과 시범해역 양식장의 LOI는 10.0 ~ 18.6%의 범위로 오염도가 높았다. 특히 양식장 퇴적물 표층의 LOI는 15.5 ~ 18.6%로 매우 높았다 (Table 1).

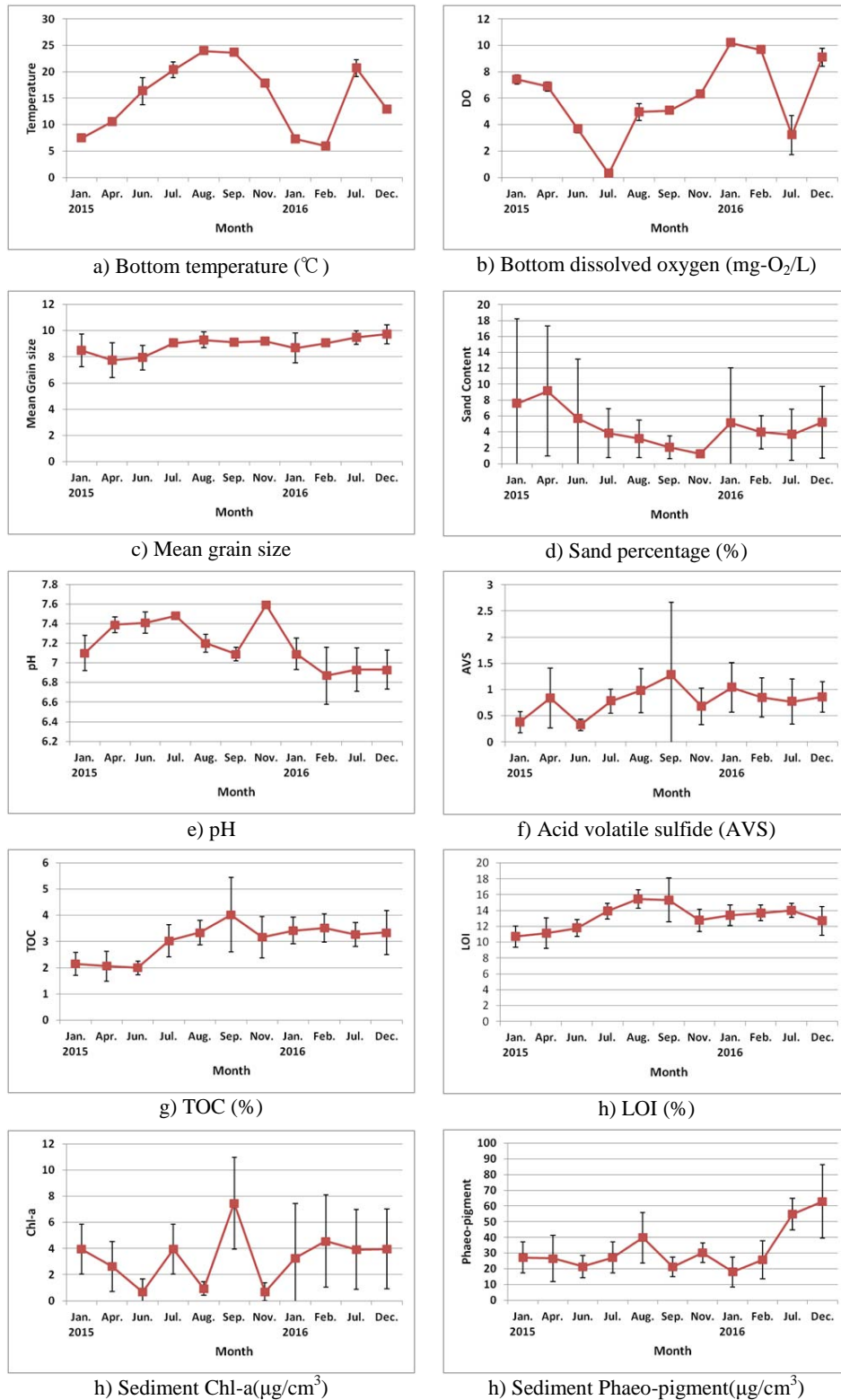


Fig. 4. Bottom temperature, dissolved oxygen, mean grain size, sand percentage, pH, acid volatile sulfide, organic carbon, loss of ignition, sediment Chl-a sediment and Phaeo-pigment measured in the benthic environment of Dangdong Bay, Korea, from January 2015 to December 2016.

김수곤, 정우성, 안순모

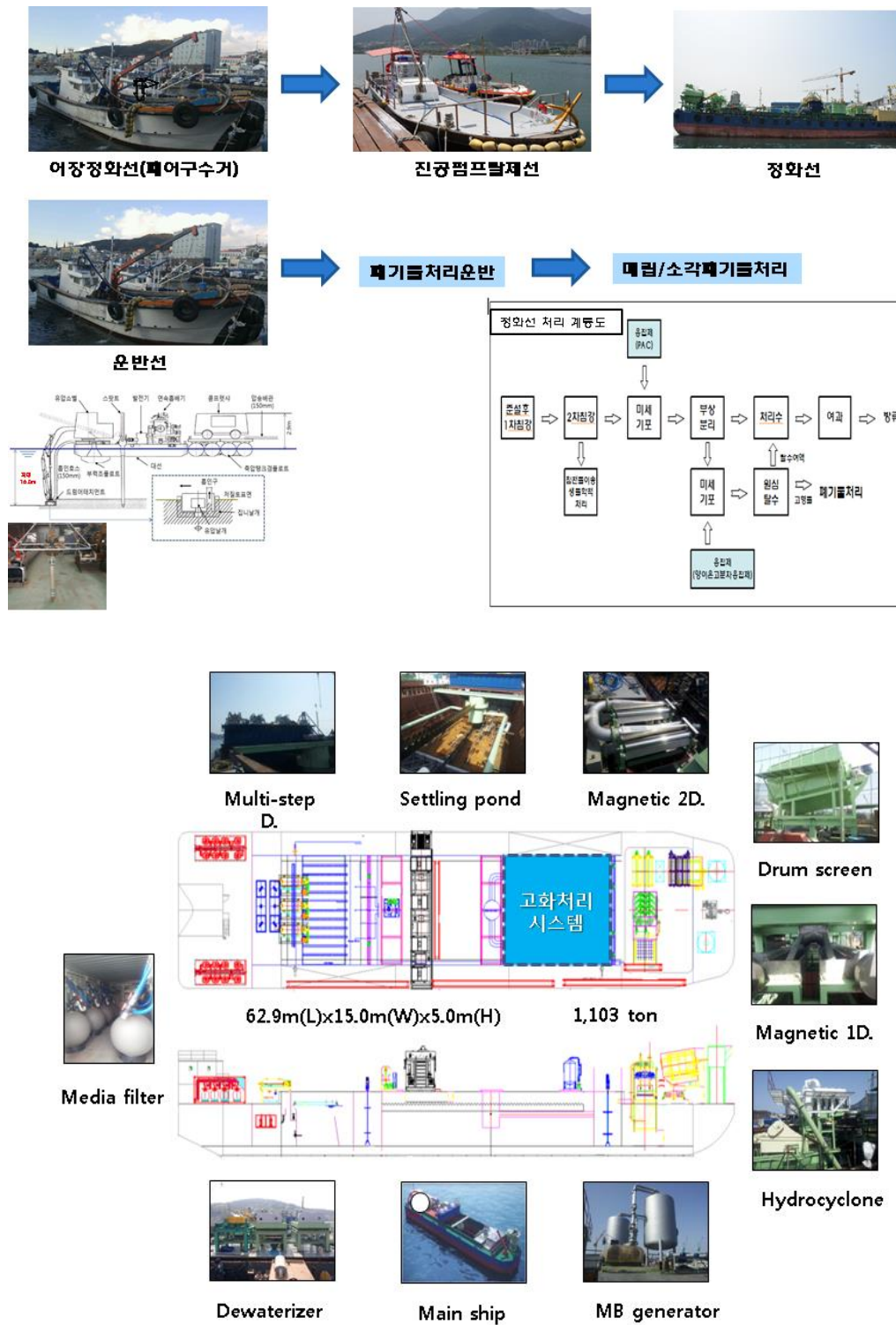


Fig. 5. Procedures showing selective removal of contaminated sediments

시범해역 양식장의 퇴적물 표층 LOI가 매우 높아 퇴적물 자체 내부 오염부하가 매우 높음을 다시 확인할 수 있다. 즉 양식장퇴적물은 *in-situ* pollutant로 특히 여름철에 빈산소 수괴 형성은 물론 생태계에 지속적인 영향을 주고 있다.

당동만 해양퇴적물 COD 농도는 7월에 정점 5, 8에서, 8월에 정점 5, 6에서, 9월에 정점 5, 6, 7, 8에서 높게 나타났다.

특히 8, 9월의 정점 5, 6, 8 해양퇴적물 COD농도가 40 g/kg가 초과하였다. 이는 1991년 진해만 양식장 해양퇴적물 농도가 40 g/kg을 초과하였던 결과와 일치한다. 하지만 2015년 조사의 8월 5, 6 정점과 9월의 8정점은 50 g/kg을 상회하는 최대치를 보여 1991년 보다 오히려 더 오염된 상황을 보여주었다. 참고로 1991년 마산만 내만의 정점은 34.46 g/kg으로 그 당시 양식장 퇴적물보다 낮은 농도를 나타내었다. 즉, 진해만 해양퇴적물 오염은 전반적으로 양식장 자체 오염에 기인하는 것으로 파악된다.

해양환경관리법에서의 부영양화 관련 평가항목에 따른, 기준농도 및 평가점수를 살펴보면 COD의 경우 평가점수는 6(기준농도 40이상), LOI 경우 평가점수는 3(15미만), AVS의 경우 0(0.6미만)으로 조사되었다. 정화.복원 범위는 부영양화 정화.복원지수  $CI_{ET}$ 의 총합이 9로 정화.복원 범위에 속한다.

국외 저질환경 규정과 비교하여 보면 일본수산수질 환경기준 (2000년)과 비교할 경우 COD는 오염 상태이며, AVS는 0.106 mg/g으로 부영양 상태로 나타났다. 일본 저질환경 보전대책조사위원회 (1988년) 규정과 비교할 경우, COD는 제거기준에 속하고, LOI, AVS는 잠정목표기준에 해당하는 것으로 조사되었다.

### 3. 테스트베드 지역 준설 및 처리

2016년 7월 당동만의 테스트베드 지역에서 표층 오니 퇴적물의 준설, 모래살포, 개선제 살포 등 1차적 빈산소 해소기술을 적용하였다. 테스트베드 지점에 모래(개선제 포함) 살포 이후, 7월과 12월의 2회에 걸쳐 변동을 살펴 보았다.

기준에 퇴적물 개선제(미생물제제, 산화제 등)는 직접 살포한 경우가 대부분이었다. 본 연구에서 사용되는 퇴적물 개선제는 바다모래(해사), 미생물제제, 산화제, 산소발생제 등을 대상으로 하고, 적정 퇴적물을 1차적으로 제거한 후 해저 바닥층에 직접 산포 투입한다. 따라서 개선제 효과를 향상시킬 수 있는 이점이 있다. 이와 유사한 사례로써 국외의 경우, 저질환경

김수곤, 정우성, 안순모

개선을 위하여 해사와 개선제 사용으로 좋은 효과를 얻고 있다.

### 4. 복토 퇴적환경 및 기초수질환경

빈산소 수괴 현상이 관찰되는 해역의 오염퇴적층(SOD)은 산소소모가 수층 산소소모(WOD) 다음으로 매우 크다. 따라서 빈산소 수괴를 저감하기 위해서는 빈산소 수괴 형성원인 소스인 바닥층의 오염된 퇴적물(SOD)을 어느 정도 제거하는 것이 효과적이다.

오염퇴적층은 수층과 경계를 두고 협잡물과 OOZE층으로 이루어져 있었다. 협잡물과 OOZE층을 대상으로 DO를 측정된 결과 2.0 mg  $O_2/L$  이하로써 용존산소가 매우 부족한 것으로 평가되었다. 또한 이것을 일부 제거하고 해사로 덮은 후에는 5.0 mg  $O_2/L$  수준으로 회복됨을 알 수 있었다.

저층수의 수온과 용존산소는 테스트베드 지역이나 비 테스트베드(평균적 당동만 해역) 지역에서 거의 차이가 없이 매우 유사한 계절 변동 양상을 보였다. 특히 개선제를 살포한 2016년 7월 이후에도 거의 차이가 없었다. 반면 퇴적환경 에서는 테스트베드에 개선제를 살포한 이후 변화가 비교적 심하게 나타났다.

2016년 2월까지에는 테스트베드 후보지나 일반 당동만 해역이나 퇴적물 입도 조성 및 유기물 함량 등이 거의 유사한 값을 보이고 있었다. 그러나 2016년 7월에 테스트베드 지역에 표층 오니를 준설하고, 그 위에 모래와 개선제를 살포하였기 때문에 테스트베드 표층 퇴적물의 사질 함량이 97% 이상이였으며, 평균 입도도 1.09를 기록하여 일반 당동만 해역과 완전히 다른 퇴적 환경이 형성되었다. 따라서 퇴적물 내 유기물함량(TOC, LOI) 뿐만 아니라 AVS 도 크게 낮아졌다.

### 5. 빈산소 해소기술 효과(2015년)

2015년 7월에 당동만 정점에서 표층 퇴적물 제거가 빈산소 해소에 미치는 영향을 평가하는 실험을 수행하였다. 각 정점에서 퇴적물 코어를 채취한 직후 현장상태를 그대로 반영하여(natural) SOD를 측정된 뒤, 퇴적물 표층으로부터 5 cm까지를 제거하여 SOD를 또 다시 측정하였다(Fig. 6).

떠온 직후 자연상태에서의 SOD는 당동만에서 24.3 mmole  $m^{-2} d^{-1}$ 이었다. 이후 표층 퇴적물을 제거한 직후에 SOD는 당동에서 9.9



mmole m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> 이었다. 세 정점 모두 표층 퇴적물을 제거한 이후 SOD가 약 2배 정도 감소하였는데, 이는 표층에 분포하는 분해되기 쉬운 유기물이 제거되었기 때문으로 추정된다.

2015년 10월과 11월에 당동 정점의 퇴적물 코어를 채취하여 빈산소 해소기술 효과를 실험하였다(Fig. 7). 이 때 실험조건은 세 가지로, 첫 번째 조건(natural)은 현장상태를 그대로 반영한 것이고, 두 번째 조건(sand)은 퇴적물 표층(5 cm)을 제거한 후 모래 퇴적물(1.73 Φ)을 표층 5 cm로 덮은 것이며, 세 번째 조건(sand+F)은 모래 퇴적물(1.73Φ)에 개선제 F를 100대 1의 비율로 첨가하여 골고루 섞은 sand+F를 표층 5 cm로 덮은 것이다.

퇴적물 코어를 채취한 직후와 18일후에 각각 실험 조건을 적용하여 SOD를 구하였다. 떠온 직후 SOD는 natural 에서 24.9 mmole m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> 이고 sand에서 9.2 mmole m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>으로 natural보다 2배 이상 감소하였다

Sand+F 에서는 natural보다 30배 정도 감소하였으므로 개선제 F의 과산화 제제의 효과가 크다고 할 수 있다. 떠온 직후의 SOD와 비교하였을 때 18일 후의 SOD는 natural의 경우 감소하였는데, 이는 유기물의 유입이 차단되었기 때문으로 추측된다.

Sand의 경우 떠온 직후의 SOD와 큰 차이를 보이지 않았다. Sand+F의 경우 약간 증가하는 경향을 나타냈지만 여전히 실험 조건 중 가장 낮은 SOD를 보였다.

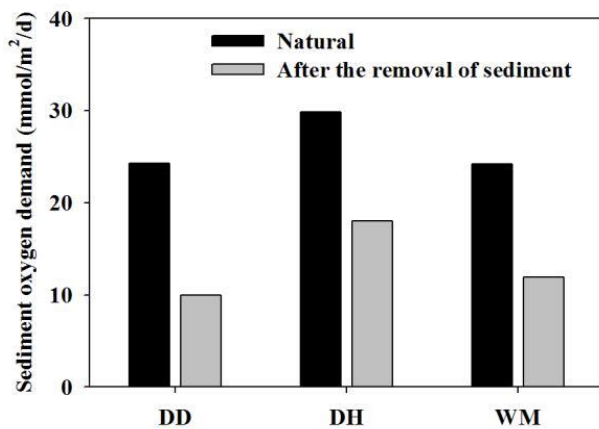


Fig. 6. Sediment oxygen demand in the sediment core samples collected in Dangdong Bay before and after the removal of surface sediment

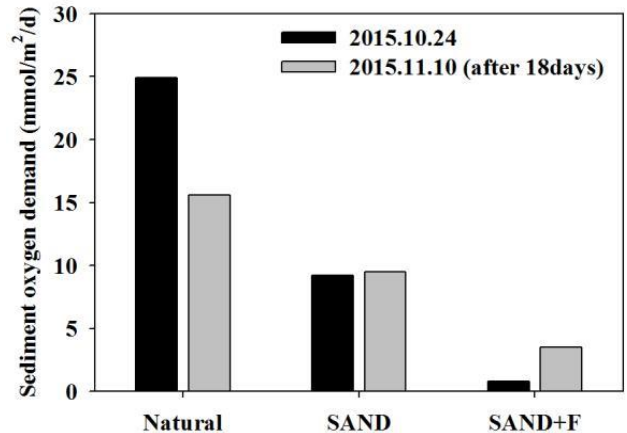


Fig. 7. Sediment oxygen demand measured right after the collection and 18 days after the collection in the sediment core samples of Dangdong Bay (natural : without treatment , sand : 1.73 Φ sand sprayed, sand+F: sand and microbial agents applied).

수층-퇴적물 간 영양염 용출량의 경우, 표층 퇴적물 제거 후 세 정점 모두 질산염이 퇴적물에서 소모되는 경향을 보였다. 인산염의 경우 표층 퇴적물 제거 후 퇴적물에서 수층으로 용출되는 경향을 보였다.

수층 퇴적물 간 영양염 용출량의 경우, 개선제 처리 직후에 natural에 비해서 sand와 sand+F 에서 질산염이 퇴적물에서 소모되는 플럭스가 감소하는 경향을 나타냈다. 암모늄의 경우, 개선제 처리 직후 암모늄이 퇴적물로 더 많이 유입되었다.

이러한 경향은 개선제 처리 후, 퇴적층에 산화환경이 조성되어 질산화가 촉진 되었을 가능성을 시사했다. 18일 후, 암모늄과 인산염은 모든 조건에서 퇴적물에서 소모되는 플럭스가 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 8).

## 6. 빈산소 해소기술 효과(2016년)

2015년의 해소 기술 평가 실험이 진행만에서 퇴적물 코어를 채취한 후 실험실 내에서 준설 및 복토를 실시한 후 측정이 이루어진 반면에 2016년 실험에서는 현장에 준설 및 복토를 실시한 테스트베드를 설치하고 이 지역에서 SOD와 WOD의 변화를 살펴보았다.

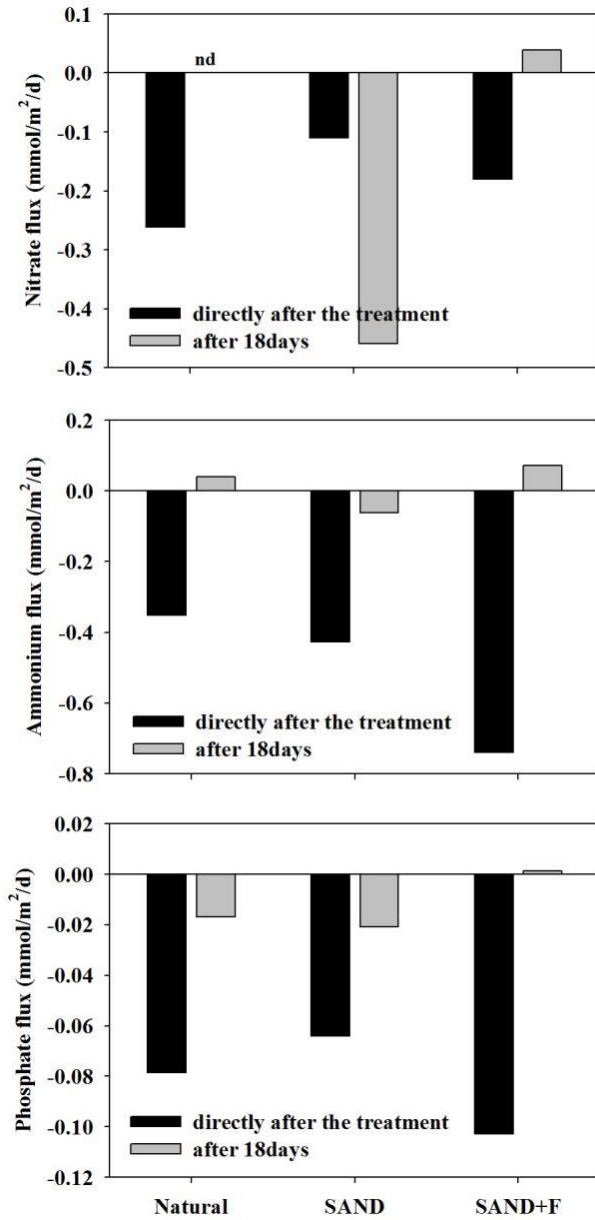


Fig. 8. Flux of nitrate, ammonium and phosphate into the sediments directly after and 18days after treatment.

미생물제제와 모래로 복토한 테스트베드의 SOD는 복토 공사 후 9일후와 42일후에 측정하여 단기 효과와 장기효과를 평가 하였다(Fig. 9).

테스트베드의 SOD는 단기적 (9일 후)으로 반 이상 줄어들어 그 효과가 크게 나타났다. 그러나 42일 후 그 효과는 매우 감소됨을 보였는데, 테스트베드의 SOD control과 거의 같아지는 양상을 보였다. 본 실험이 이루어진 2016년

김수곤, 정우성, 안순모

7~8월은 빈산소가 발생한 시점이기 때문에 실제 SOD 뿐만 아니라 인위적으로 산소농도를 높인 상태에서 측정하는 potential-SOD도 같이 측정하였다. 빈산소 상태에서 측정한 SOD는 control이 낮은 경향을 보였으나, potential SOD는 control이 훨씬 큰 값을 보여, 테스트베드가 SOD감소에 역할을 하고 있음을 나타냈다. 앞서 설명한 바와 같이 이러한 효과는 장기적으로는 감소하여, actual-SOD와 potential-SOD 모두에서 테스트베드와 control의 차이가 줄어들었다.

수층 산소요구량 (WOD)에 있어서는 예상했던 바와 같이 테스트베드의 효과는 볼 수 없었다(Fig. 10). 테스트베드는 그 면적이 작아 상부의 수층까지 영향을 미치기는 힘든 것으로 판단된다. 전반적인 WOD는 9일보다 42일에 증가하였고, 9일째에는 테스트베드가 control보다 오히려 높은 경향을 보였으나 이러한 차이가 특별히 실험에 의한 효과라고 보기는 힘들고 지역적 차이와 실험의 변이 안에 포함되는 차이이다.

일반적으로 빈산소 수괴의 형성 조건은 다음과 같이 3가지로 구분할 수 있다.

Type I: 성층이 이루어지지 않아 표층에서 산소 공급의 제한이 없지만 높은 SOD 때문에 빈산소 수괴가 발생하는 경우, Type II: SOD가 낮지만 강한 성층에 의해 산소 공급이 제한 되는 경우, Type III: 높은 SOD와 강한 성층이 동시에 존재하는 경우이다.

진해-통영시스템 (Lee et al., 2011; Yoon et al., 2008)의 굴, 멥게 양식장에서는 표층에서 저층으로의 충분한 산소 공급이 있음에도 불구하고 저층에서의 높은 SOD가 빈산소 수괴를 형성하는데 중요한 역할을 했다(Type I).

### 7. 저서환경 요인분석

빈산소수괴 해소 기술에 따른 대형저서동물군집의 반응을 조사하기 위하여 실시되었다. 1, 2차 년도인 2015년부터 3차 년도인 2016년까지 2년간 11회에 걸쳐 빈산소수괴가 형성될 가능성이 높은 당동만을 대상으로 빈산소수괴 형성 과정 중의 대형저서동물 군집상이 어떻게 변천해가는지를 살펴보았다.

3차년도에는 당동만의 테스트베드 지점에서 표층 오니 퇴적물의 준설, 모래살포, 개선제 살포 등 1차적 빈산소 해소기술을 적용하였다. 테스트베드 지점에 모래(개선제 포함) 살포 이후, 7월과 12월의 2회에 걸쳐 저서동물군집상의 변동을 살펴보았다.

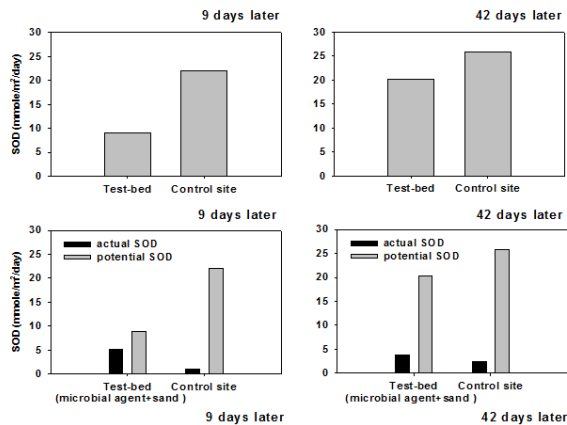


Fig. 9. The changes in sediment oxygen demand after the treatment (9 and 42 days later). The microbial agents and sands were directly applied on test-bed site in 2016.

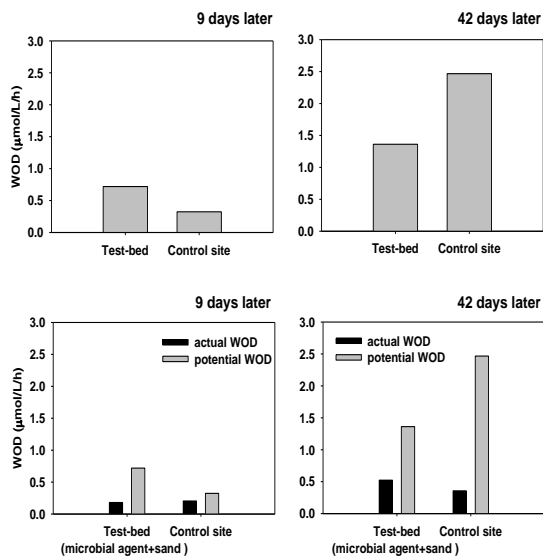


Fig. 10. The changes in water oxygen demand after the treatment (9 and 42 days later). The microbial agents and sands were directly applied on test-bed site in 2016.

저층수의 수온과 DO는 테스트베드 지역이나 비 테스트베드(평균적 당동만 해역)에서 거의 차이가 없이 매우 유사한 계절 변동 양상을 보였다. 특히 개선제를 살포한 2016년 7월 이후에도 거의 차이가 없었다. 반면 퇴적 환경에서는 테스트베드에 개선제를 살포한 이후 변화가 비교적 심하게 나타났다. 2016년 2월까지에는 테스트베드 후보지나 일반 당동만

해역이나 퇴적물 입도 조성 및 유기물 함량 등이 거의 유사한 값을 보이고 있었다. 그러나 2016년 7월에 테스트베드 지역에 표층 오니를 준설하고, 그 위에 모래와 개선제를 살포하였기 때문에 테스트베드 표층 퇴적물의 사질 함량이 97% 이상이었으며, 평균 입도도 1.09를 기록하여 일반 당동만 해역과 완전히 다른 퇴적 환경이 형성되었다. 따라서 퇴적물 내 유기물함량(TOC, LOI) 뿐만 아니라 AVS 도 크게 낮아졌다.

저서환경과 마찬가지로 테스트베드 지역의 저서동물군집상은 테스트베드 지역에 개선제를 살포하기 이전인 2016년 2월까지의 당동만의 일반적인 저서동물군집과 큰 차이를 보이지 않고, 거의 유사한 변동 패턴을 보였다. 테스트베드 지역에 객토이후인 2016년 7월에는 일반 당동만 해역보다 저서동물군집의 출현종수와 서식밀도가 크게 감소하였다. 이는 모래 살포로 인한 영향으로 보인다. 2016년 12월에는 테스트베드 지역에서 오히려 서식밀도가 크게 증가하였는데, 이는 갯지렁이 종류인 *Paraprionospio patiens*의 극우점으로 다른 해역보다 더 심해진 결과이다.

저서건강도 평가 결과, 2015년 6월-11월 사이 기간에서의 테스트베드 후보지는 무생물해역으로 건강도가 최악이었으나, 이후에도 우심오염 수준을 유지하였다. 객토 직후인 2016년 7월에는 평균적 오염 수준을 보였으나 12월에는 *P. patiens*의 극우점으로 다시 우심오염 수준으로 떨어졌다.

#### IV. 결론

각종 유기오염물질로 오염된 테스트 베드의 퇴적토를 생태학적으로 복원하기 위해 2차년도에 선별된 우수미생물재제와 과산화물재제를 혼합한 재제를 적용하고, 개선 및 모래복토를 한 테스트 베드의 조사에서 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 1차 조사에서 표층 및 저층에서 높은 효율성을 대조군과 비교하여 보였는데, 이것은 주요인은 준설과 모래의 살포에 인한 것으로 판단되며, 시료에서 모래가 상대적으로 없는 퇴적토 하단부(저층)에서는 표층과 비교하여 비교적 높은 수치를 보였으며 또한 상대적으로 높은 감소 효율성을 보였다. 2차 조사에서는 처리 후 상당한 시간이 경과함에 따라 인근유역 오염물질의 표층에서의 재축적과 수층에서 각종 생물체의 활동 등에 의한 생태학적인 역할에 따라 처리전의 초기수치와 비슷한 수준을 보였으며 이것은 또한 중간시점에서 강한 태풍에 의한 조류에 의한 모래유실과 처리 후에 테스트

베드내의 퇴적표층에 축적된 유기물질의 이동에 의한 것으로 판단된다.

준설과 모래복토, 그리고 개선제 투입의 혼합처리에 의한 효율성은, 처리 3개월 후 1차 조사 시점에서도 효율성이 상당히 높은 것으로 보여 졌으며, 향후 오염 정도가 높은 현장에 혼합처리를 적절히 잘 이용하면 높은 기대성과가 예측 된다. 다만 테스트 베드에서 동시 혼합처리에 의해 개별적인 처리의 효율성은 산출하기가 어려우며, 향후 개별처리에 의한 효율성은 좀 더 연구가 필요한 것으로 사료 된다.

### 사사

본 연구는 해양수산부 및 한국해양과학기술진흥원의 해양수산환경기술개발사업 과제(No. 20140457) “내만 빈산소 수괴 해소기술 개발”에 의해 수행되었음.

### 참고문헌

[1] Chang, S.D., C.K. Kim and J.S. Lee. 1993. Field observations and hydraulic model experiments of tidal currents in Chinhae Bay. *Bulletin of Korean Fisheries Society* 26: 346-352. (in Korean)

[2] Cho, H.Y., J.W. Chae and S.Y. Chun. 2002. Stratification and DO concentration changes in Chinhae-Masan Bay. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers* 14: 295-307. (in Korean)

[3] Cho, K.J., M.Y. Choi, S.K. Kwak, S.H. Im, D.Y. Kim, J.G. Park and Y.E. Kim. 1998. Eutrophication and seasonal variation of water quality in Masan-Jinhae Bay. 「The Sea」 *Journal of the Korean Society of Oceanography* 3: 193-202. (in Korean)

[4] Choi, W.J., C.K. Park and S.M. Lee. 1994. Numerical simulation of the formation of oxygen deficient water-masses in Jinhae Bay. *Bulletin Korean Fisheries Society* 27: 413-433. (in Korean)

[5] Conley, D.J., J. Carstensen, R. Vaquer-Sunyer and C.M. Duarte. 2009. Ecosystem thresholds with hypoxia. *Hydrobiologia* 629: 21-29.

[6] De Jonge, V.N., M. Elliott and E. Orive. 2002. Causes, historical development, effects and future challenges of a common environmental problem: eutrophication. In, Orive, E., M. Elliott and E. Orive. (eds.). *Nutrients and Eutrophication in Estuaries and Coastal Waters*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. *Hydrobiologia* 475/476: 1-19.

[7] Diaz, R.J. and R. Rosenberg. 2008. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science* 321: 926-929.

[8] Gyeongsangnamdo Province (GSNDP). 1997. A Year Book of Marine Aquaculture. Changwon, Korea. 90p. (in Korean)

[9] Hong, G.H., K.T. Kim, S.J. Pae, S.H. Kim and S.H. Lee. 1991. Annual cycles of nutrients and dissolved oxygen

in a nutrient-rich temperate coastal bay, Chinhae Bay, Korea. *The Journal of the Oceanological Society of Korea* 26: 204-222.

[10] Jung, T.S. 1996. Three-dimensional numerical modelling of tidal currents in Masan-Jinhae Bay. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 16: 63-72. (in Korean)

[11] Kim, Y.J., M.K. Kim and J.S. Yoon. 2010. Study of formation and development of oxygen deficient water mass, using ecosystem model in Jinhae, Masan Bay. *Journal of Ocean Engineering and Technology* 24: 41-50. (in Korean)

[12] Korea Institute of Marine Science and Technology (KIMST). 2016. Development of Hypoxic Water Mass Restoration Technology in an Inner Bay. 2<sup>nd</sup> year. Seoul, Korea. 909p. (in Korean)

[13] Kwon, J.N., J. Lee, Y. Kim, J.H. Lim, T.J. Choi, M.J. Ye, J.W. Jun and S. Kim. 2014. Long-term variations of water quality in Jinhae Bay. *Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy* 17: 324-332. (in Korean)

[14] Lee, B.H. 2006. Analysis of non-point pollutants outflow pattern in Jinhae-Masan basin. *The Journal of Engineering Paichai University, Korea* 8: 107-118. (in Korean)

[15] Lee, I.C., H.H. Kong and S.J. Yoon. 2008a. Numerical prediction for reduction of oxygen deficient water mass by ecological model in Jinhae Bay. *Journal of Ocean Engineering and Technology* 22: 75-82. (in Korean)

[16] Lee, P.Y. 1993. Occurrence and seasonal variation of oxygen-deficient watermass in Wonmun Bay. *Bulletin Korean Fisheries Society* 26: 392-400. (in Korean)

[17] Lee, J.S., Y.T. Kim, K.H. Shin, J.H. Hyun and S.Y. Kim. 2011. Benthic nutrient fluxes at longline sea squirt and oyster aquaculture farms and their role in coastal ecosystems. *Aquaculture International* 19: 931-944.

[18] Lee, S.H., C.Y. Kang, B.J. Choi and C.S. Kim. 2013. Surface current response to wind and plumes in a bay-shape estuary of the eastern Yellow Sea Ocean radar observation. *Ocean Science Journal* 48(1): 117-139.

[19] Levin, L.A., W. Ekau, A.J., Gooday, F., Jorissen, J.J., Middelburg, W., Naqvi, C., Neira, N.N., Rabalais and J. Zhang. 2009. Effects of natural and human-induced hypoxia on coastal benthod. *Biogeoscience Discuss* 6: 3563-3654.

[20] National Fisheries Research and Development Institute (NFRDI). 2009. Hypoxia in the Coast of Korea. Busan, Korea. 173p. (in Korean)

[21] Nybakken, J.W. 1993. *Marine Biology: An Ecological Approach*. 3<sup>rd</sup> ed. Harper Collins Coll. Pub., New York, USA. 595p.

[22] Paerl, H.W., J.L. Pinckney, J.M. Fear and B.L. Peierls. 1998. Ecosystem responses to internal and watershed organic matter loading: consequences for hypoxia in the eutrophying Neuse River Estuary, North Carolina, USA. *Marine Ecology Progress Series* 166: 17-25.

[23] rk, J.S. and J.D. Kim. 1967. A study on the red-tide caused at Chinhae bay. *Bulletin of National Fisheries*

김수곤, 정우성, 안순모

- Research and Development Institute 1*: 63-79. (in Korean)
- [24] eckbauer, A., C.M. Duarte, J. Carstensen, R. Vaquer-Sunyer and D.J. Conley. 2011. Ecosystem impacts of hypoxia: Threshold of hypoxia and pathways to recovery. *Environmental Research Letter* 6: 1-12.
- [25] Vaquer-Sunyer, R. and C.M. Duarte. 2008. Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *PNAS* 105: 15452-15457.
- [26] Yang, D.B., E.S. Kim, and K.W. Lee. 1983. Seawater quality and red tide in Jinhae Bay in 1979~1982. *Bulletin of KORDI* 5: 15-20.
- [27] Yoon, J.S., M.K. Kim, D.J. Han and G.Y. Kim. 2008. A study on the numerical model of current of stratification considering the topographic heat accumulation effect in the coastal area. *Journal of Korean Society of Ocean Engineering* 22(5): 61-68.
- [28] Zhang, J., D. Gilbert, A.J. Gooday, L. Levin, S.W.A. Naqvi, J.J. Middelburg, M. Scranton, W. Ekau, A. Pena, B. Dewitte, T. Oguz, P.M.S. Monteiro, E. Urban, N.N. Rabalais, V. Ittekkot, W.M. Kemp, O. Ulloa, R. Elmgren, E. Escobar-Briones and A.K. Van der Plas. 2010. Natural and human-induced hypoxia and consequences for coastal areas: synthesis and future development. *Biogeoscience* 7: 1443-1467.



# 용호만 오염퇴적물로부터 패류체내로의 중금속 이동·축적량 계산

## Bioaccumulation of heavy metals in bivalves from contaminated sediments of Yongho Bay, Korea



Journal of Korean  
Environmental  
Dredging Society

최진영<sup>1), 2)</sup>, 김경련<sup>1), 2), \*</sup>, 원은지<sup>1)</sup>, 강예희<sup>1), 2)</sup>, 임지영<sup>1)</sup>, 임채운<sup>1)</sup>,  
양동범<sup>1)</sup>, 정창수<sup>1), 2)</sup>, 김영일<sup>1), 2)</sup>, 김석현<sup>1), 2)</sup>, 홍기훈<sup>1)</sup>

Jin Young Choi<sup>1), 2)</sup>, Kyoungrean Kim<sup>1), 2), \*</sup>, Eun Ji Won<sup>1)</sup>, Yehui Kang<sup>1), 2)</sup>, Jee  
Young Yim<sup>1)</sup>, Chae Woon Lim<sup>1)</sup>, Dong-Beom Yang<sup>1)</sup>, Chang Soo Chung<sup>1), 2)</sup>,  
Young Il Kim<sup>1), 2)</sup>, Suk Hyun Kim<sup>1), 2)</sup>, Gi Hoon Hong<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>15627 경기도 안산시 상록구 해안로 787 한국해양과학기술원  
<sup>1)</sup>Korea Institute of Ocean Science and Technology,  
787 Haeantro, Ansan 15627 Korea

<sup>2)</sup>15627 경기도 안산시 상록구 해안로 787 한국해양과학기술원  
과학기술연합대학원 대학교 해양융합과학과  
<sup>2)</sup>Korea University of Science and Technology (UST),  
Department of Integrated Ocean Sciences, KIOST, 787  
Haeantro, Ansan 15627 Korea

\*: 교신저자(김경련: kyoungrean@kiost.ac.kr, Tel.031-400-6185)

### Abstract

Metal biokinetic model was used to estimate the bioaccumulation of Cd and Zn in bivalves dwelling on the contaminated sediment of Yongho Bay, Korea. We also assessed the health risk for human population exposed to Cd by consuming these bivalves. Improved knowledge on the assimilation number, ingestion rate, efflux rate and growth rate in bivalves would be necessary for the construction of reliable ecosystem based tool for the management of contaminated sediments.

**Keywords: Marine contaminated sediments, Metal bioaccumulation, Biokinetic modeling, Hazard indices**

### I. 서론

퇴적물은 생태적으로 중요한 요소이다.  
퇴적물에 흡착되어있던 중금속 등 오염물질이

상부 수층으로 용출되거나 오염된 퇴적물을  
퇴적물식자가 섭식하면 오염물질은 상위생태계  
로 이동하고 이를 섭취하는 인간에게도 위험을  
끼치게 된다. 김이나 미역, 다시마 등 식물도

최진영, 김경련, 원은지, 강예희, 임지영, 임채운, 양동범, 정창수, 김영일, 김석현, 홍기훈

해수나 해저퇴적물의 오염물질을 흡수하므로, 이를 섭취하는 인간에게 위험을 끼치게 된다<sup>1)</sup>.

퇴적물 오염은 관리기준 이하의 준설물질의 외해 투기 평가에서 중요한 위험요인이다. 준설작업 시 해저면의 굴착에 따른 산화환원 준위 변동으로 인하여 퇴적물 내에 갇혀있던 오염물질들이 주변해역으로 확산되며, 준설물질을 해역에 투기할 경우 퇴적물에 흡착된 오염물질이 수중으로 재부유되어 2 차 오염을 일으키기도 한다<sup>2)</sup>. 따라서 준설사업 시행 전에 퇴적물의 오염특성규명과 퇴적물이 해양생태계에 어떠한 영향을 미치고 있는가를 파악하여야 한다.

오염된 퇴적물의 적절한 관리대안을 도출하기 위해서는 퇴적물 중 오염물질이 주변환경에 어떠한 피해를 줄 수 있는가에 대해 면밀한 검토를 필요로 하며 충분한 사회경제학적 사전검토과정을 거쳐야 한다.

환경문제는 복잡한 이해관계와 불확실성으로 얽혀있기 때문에 과학적이고 합리적인 접근 방법이 요구되며 오염 피해의 정도를 계량적으로 평가하고 구체적인 영향을 파악할 수 있어야 한다. 환경의 위해도 평가는 이를 위해 제시될 수 있는 구체적 방법론으로 인식되고 있다. 환경에서의 위해도 평가는 사람이 환경적 위험에 노출되었을 경우, 발생 가능한 영향을 정성 또는 정량적으로 추정하는 과정이며 환경 또는 건강위해의 정도와 확률을 평가하기 위해 다양한 방법을 사용하여 관련된 정보들을 분석한다<sup>3-5)</sup>. 퇴적물에 노출된 생물 체내에 축적될 수 있는 오염물질의 양을 파악할 경우 이를 섭취하는 인체에 미치는 위해성을 용이하게 평가할 수 있으며 오염 퇴적물의 효과적인 관리책을 제시하는데 도움이 된다<sup>6-7)</sup>.

그러나 위해도 평가를 위해 해당 지역의 생물들을 채집하여 분석하기 위해서는 많은 시간과 비용을 필요로 한다. 따라서 준설물질, 오염퇴적물의 관리를 위해서 해당지역의 생태계 구성을 조사하고 어류, 수산식품에 어느 정도의 오염물질이 축적될 수 있는가를 먼저 파악하고 이에 기반하여 위험을 평가하려는 시도가 있어 왔다.

대표적인 것으로 미국 육군공병단 (United States Army Corps of Engineers, USACE) 오염퇴적물센터 (Center for Contaminated Sediment) 가 1990 년 대 후반에 개발하고 사용중인 Trophic Trace 소프트웨어 이다. 이 소프트웨어에서 오염물질의 생물축적은 해수-해저퇴적물-생물체 조직 간 오염물질의 평형을 가정하여 계산한다. 유기염소계화합물 등 유기오염물질은 이러한

평형에 대해 많은 연구가 이루어져 환경매체간 분배과정을 파악하기 용이하며 생물축적되는 양을 적절히 추산할 수 있다.

중금속의 위험을 평가할 때는 다른 성분들의 경우와는 다른 특성이 있다. 중금속은 새로이 생성되거나 파괴되지 않으며 화학적인 형태가 변할 뿐이고 궁극적으로 퇴적물에 축적된다<sup>8)</sup>.

생물체로의 중금속의 축적량 예측은 생물축적계수 (Bioconcentration Factor) 를 사용한 단순한 계산이 널리 사용되고 있다. 생물축적계수 값을 기반으로 용존상태의 중금속이 생물체내로 축적되는 양을 계산할 경우에는 환경에서의 농도와 생물체내의 축적 정도가 평형상태에 도달했는지를 알 수 없기 때문에 어려움이 따른다. 생물역학적 중금속 생물축적모델은 오랜 역사를 가지고 있지만 입증될 수 있는 모델은 일부에 불과하였다. 자연계에서 홍합(*Mytilus edulis*), 넙치(*Pleuronectes platessa*) 체내의 Zn, Cd, Mn, Hg 등 중금속의 생물축적 정도를 논할 때 먹이그물에 의한 축적과정을 감안해야 한다는 것이 오래 전부터 알려져 왔다. 그러나 먹이에 의한 흡수를 정량화할 방법이 마땅치 않았었고 자료가 부족했기 때문에 실제 계산으로 이어지지 못하였다. 근래에는 여러 생물학적 과정(동화효율, 먹이 섭취율, 배출률 등) 들이 중금속 흡수에 영향을 주는 요인을 감안하여 좀 더 현실성 있는 역학모델을 구성하게 되었다. 1990 년대 들어 청정실험실 운용에 따라 양질의 중금속 농도 자료가 풍부해진 것은 효율적인 모델 구축에 많은 도움이 되었다.

본고에서는 용호만 오염퇴적물의 위험평가를 위하여 퇴적물의 중금속 성분이 패류 체내에 얼마나 축적될 수 있는가를 추산하였다. 어류는 이동성이 강해 체내 축적량에 따른 위험평가를 할 경우 해당 오염퇴적물에 서식하는 기간을 감안해야 하는 단점이 있지만 고착성인 패류는 이러한 문제로부터 자유롭다.

## II. 재료 및 방법

본고에서는 오염된 퇴적물로부터 참굴 (*Crassostrea gigas*) 진주담치 (*Mytilus edulis*) 체내에 축적가능한 중금속 농도를 계산하였다. 생물역학적인 중금속의 수생생물 축적모델은 여러 경로로의 생물에 의한 흡수, 생물의 동화효율 (assimilation efficiency, AE), 먹이 섭취율 (ingestion rate), 배출률, 성장률 등을 감안하며 수생생물이 접하게 되는 여러 환경조건을

한국환경준설학회지 제 5 권 1 호 2017 년 3 월

포함하여 구성한다 (Fig. 1). 오염물질의 축적은 수생생물이 용존, 입자성 상태의 화학물질을 모두 흡수할 수 있다는 가정에서 평형상태일 경우 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$C = [(k_u \cdot C_w) + (AE \cdot IR \cdot C_f)] / (k_e + k_g)$$

여기서 C는 평형상태에서의 생물체내 화학원소 농도,  $k_u$ 는 용존성 중금속의 흡수율,  $C_w$ 는 물속의 중금속 농도, AE는 동화효율, IR은 먹이 섭취율,  $C_f$ 는 먹이(플랑크톤, 퇴적물)에서의 중금속 농도,  $k_e$ 는 배출률 상수,  $k_g$ 는 성장률 상수이다.

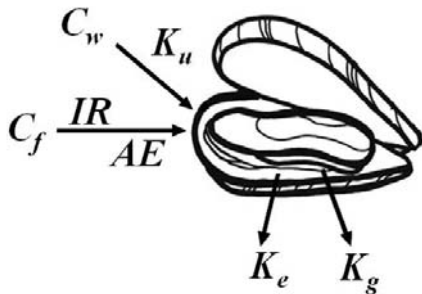


Fig. 1. Uptake of chemical substances in bivalves.

용호만 외측에서 2008년에 채취된 퇴적물에서는 Cd 농도가 0.26 mg/kg, Zn 농도가 82 mg/kg 이었다. 이를 기반으로 서식하는 진주담치와 참굴 체내에는 어느 정도의 중금속이 축적될 수 있는가를 추산하였다. 조사대상 해역에서 이들 패류의 먹이 섭취율, 동화효율, 배출률 등에 대한 실험결과가 없기 때문에 본고에서는 다른 연구에서의 결과치를 적용하여 시험적으로 패류체내 중금속 축적 가능 정도를 계산하였다.

해수 중 중금속 농도는 퇴적물의 중금속 농도로부터 분배계수에 의해 계산 하였다<sup>9)</sup>.

먹이 섭취과정에서의 각 상수들은 Wang *et al.*<sup>10)</sup>, Wang and Rainbow<sup>11)</sup>가 제시한 값들을 사용하였다. 이들은 진주담치에서 Cd의 경우 AE 값으로 11-40%,  $k_u$  값으로 0.365 를 사용하였고 Zn의 경우 AE: 16-48%,  $k_u$ : 1.044를 제시한 바 있다. 참굴의 경우 Cd에 대해서는 AE: 45%,  $k_u$ : 2.3, IR: 0.243,  $k_e$ : 0.013,  $k_g$ : 0.011을 사용하여 축적농도를 계산한바 있다. 참굴의 경우 Zn에 대해서는 기존 자료가 없어 석회굴에 적용된 값들을 사용하였다<sup>11)</sup>. 패류의 먹이는 식물성플랑크톤 80%, 퇴적물 20%로 가정하였다.

### III. 결과 및 고찰

생물은 성장환경, 먹이에 따라 먹이 섭취과정에서의 상수들이 달라지기 때문에 용존성 중금속의 흡수율( $K_u$ )과 동화효율(AE)에 대해 불확실성을 반영하여 패류체내 축적 가능한 농도를 계산하였다. 오염퇴적물의 위험 범위를 파악하기 위해 사다리꼴 퍼지숫자 (Trapezoidal Fuzzy Number) 형태의 불확실성 분석 알고리즘을 사용하였다<sup>12)</sup>.

사용자는 관련 항목에 점 추정치를 단순히 입력하지 않고 불확실성을 묘사하기 위한 사다리꼴 퍼지숫자로 그 항목이 존재할 수치적 범위를 입력할 수 있다. 퍼지집합에서는 각 대상이 어떤 모임에 속한다 또는 안 속하지 않는다는 이진법이 아니라 각 대상이 그 모임에 속하는 정도를 소속함수 (membership function)로 나타낸다. 사다리꼴 퍼지숫자 (Trapezoidal Fuzzy Number)의 항목의 값은  $F = [A, B, C, D]$  로 주어진다. A는 가능한 최저 값 (Minimal possible value), B는 개연성 있는 최저 값 (Minimal probable value), C는 개연성 있는 최고 값 (Maximal probable value), D는 가능한 최고 값 (Maximal possible value) 를 말한다. A에서 D의 범위는 가능한 최소값에서 최고 값까지이며 B, C는 개연성 있는 값의 범위이다. 이 불확실성은 분석과정에 반영되며 모델결과도 역시 사다리꼴 퍼지숫자로 표시된다. 이 경우 항목의 값은  $F = [A, B, C, D]$  로 주어지며 이 불확실성은 분석과정에 반영되어 계산결과도 역시 사다리꼴 퍼지숫자로 표시된다.

불확실성을 감안하여 중금속의 수생생물 축적모델을 사용하여 계산한 결과 용호만의 오염된 퇴적물환경에서 진주담치 체내에 축적될 수 있는 Cd 농도는 [0.61, 0.99, 1.26, 1.43]  $\mu\text{g/g}$  이었다(Fig. 2). Zn의 경우 진주담치 체내에 [58.8, 85.6, 116.4, 153.7]  $\mu\text{g/g}$  이 축적될 수 있는 것으로 계산되었다. 용호만의 오염퇴적물로부터 참굴 체내에 축적될 수 있는 Cd 농도는 [4.67, 5.86, 7.60, 8.80]  $\mu\text{g/g}$  이었으며 Zn 농도는 [304.6, 394.9, 485.3, 575.7]  $\mu\text{g/g}$  이었다.

환경에서의 위해도 평가는 사람이 환경적 위험에 노출되었을 경우, 발생 가능한 영향을 정성 또는 정량적으로 추정하는 과정이며 환경 또는 건강위해의 정도와 확률을 평가하기 위해 다양한 방법을 사용하여 관련된 정보들을 분석한다. 현재 널리 사용되고 있는 위해도 분석에서 인체에 대한 비발암위해도는 개별

노출량/기준노출량(reference dose, Rfd)으로 주어지는 비발암위험지수(hazard index, HI)로 나타내는데 이 지수가 1이상이면 인체건강에 위협을 받을 것이다. 기준노출량 (Rfd)은 오염물질에 의한 영향을 받기 시작하는 기준점으로 적절한 독성실험 결과 값으로부터 불확실성 및 인지변화에 따른 요인을 감안하여 계산한다.

용호만 오염퇴적물을 기반으로 서식하는 패류를 섭취할 경우의 인체 위해도를 계산하였다. 인체위해도는 체중 60 kg인 사람이 70년간 노출되었을 때를 가정하였다. 2014년도 우리나라 성인 1인의 1일당 식품공급량은 어류전체는 65.89 g, 패류전체는 48.88, 굴은 6.02, 홍합은 0.92 g 이었다<sup>13)</sup>. 많은 양을 실제 성인들이 취하고 있다고 볼 수 있고 오염퇴적물의 영향에 매우 취약할 것으로 사료된다. 인체의 비발암 위험지수(HI)를 계산하기 위한 기준노출량(Rfd)은 Cd의 경우  $1 \times 10^{-3}$  값을 사용하였다. 주변 지역 주민이 오염된 진주담치를 하루 0.92 g, 참굴을 하루 6.02 g 씩 매일 먹을 경우 비발암위해도 (HI) 값은 1에 훨씬 못 미쳐 위험하지 않다고 볼 수 있다.

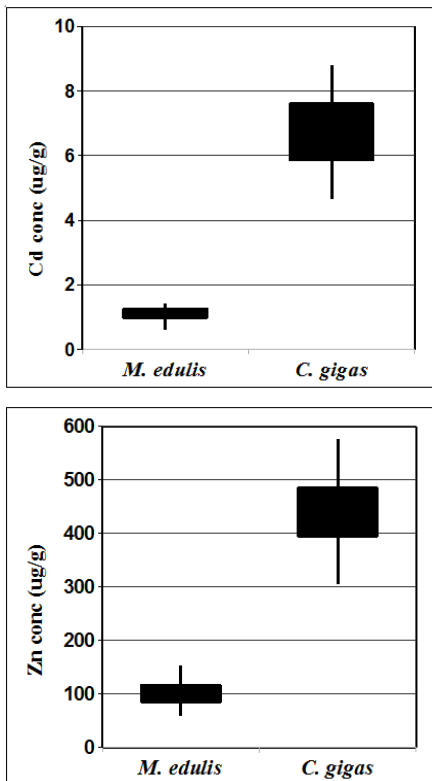


Fig. 2. Estimated concentrations of Cd and Zn in bivalve tissue.

#### IV. 결론

오염물질이 생태계 먹이그물에 축적되어 어패류와 이를 섭취하는 인체에 미치게 되는 위해도를 평가하는 것은 해저퇴적물의 적절한 관리대안을 도출하는데 큰 도움이 된다. 오염된 조사대상해역을 생활기반으로 하는 특정 패류의 체내 오염물질 축적량 예측은 단순히 퇴적물중의 오염물질 농도를 환경기준치와 비교하는 것보다 훨씬 구체적인 환경 위험 정보를 제공해준다. 조사대상 해역에 서식하는 특정한 어패류가 어느 오염물질에 취약한가에 따라 달라지는 독성지수는 오염퇴적물이 실제로 갖는 위험을 파악할 수 있게 해주기 때문이다. 또한 그 지역 주민들의 연령, 식성 등을 감안하여 오염물질이 인체건강에 미치는 영향에 대해 더욱 정확한 정보를 제공할 수 있게 한다.

제한된 정보에 의거하여 위해도를 평가할 수 있는 편리한 기존 소프트웨어의 경우 유기오염물질의 경우에는 비교적 영양단계별 이동을 충실하게 고려하고 있다. 그러나 중금속의 경우 생물축적에 큰 영향을 주는 화학종에 대한 고려를 하지 않으며 산화-환원 반응이나 산-염기 반응을 고려하지 못하므로 위해도평가 결과에 내재되는 불확실성이 확대되는 단점이 있다. 패류체내의 중금속 축적 농도를 실제에 더 가깝게 예측하기 위해서는 환경조건에 따른 패류의 먹이 섭취율, 동화효율, 배출률 등 여러 변수에 대한 구체적인 실험 결과를 바탕으로 한 역학모델 구성이 필요하다. 향후 이러한 변수에 대한 체계적인 실험에 의해 보다 정확한 패류체내 중금속 축적량을 예측하여야 할 것이다.

#### 사사

본 연구는 한국해양과학기술원(PM58910, PG49241)에서 일부 지원되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] Mozaffarian, D. and Rimm, E.B. 2006. Fish intake, contaminants, and human health, *J. Am. Med. Assoc.* 296, 1885-1899.
- [2] Hong, G.H., Kim, S.H., Suedel, B.C., Clarke, J.U. and Kim, J. 2010. A decision-analysis approach for contaminated dredged material management in South Korea. *Int. Env. Ass. Man.* 6: 72-82.
- [3] United States Environmental Protection Agency and United States Army Corps of Engineers (USEPA/USACE). 1991. Evaluation of dredged material proposed for ocean disposal: testing manual. 1-214. EPA-503/8-91/001.

한국환경준설학회지 제 5 권 1 호 2017 년 3 월

- [4] United States Environmental Protection Agency and United States Army Corps of Engineers (USEPA/USACE). 1998. Evaluation of dredged material proposed discharge in waters of the U.S. testing manual: inland testing manual. 1-176. EPA 823-B-98-004.
- [5] United States Environmental Protection Agency (USEPA). Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories, Vol. 2. Risk Assessment and Fish Consumption Limits, Third Edition, 2000, 1-383.
- [6] Yang, D.B., Hong, G.H., Choi, J.Y., Kim, K.R. Kim, C.J., Chung, C.S., and Kim, S.H., 2014. Estimating transfer of organic pollutants in fish from bottom sediment using Aquaweb model and its application to ecological and human health risk assessment of contaminated sediments. *J.KEDS* 4(1):1-11.
- [7] 양동범, 홍기훈, 김경련 2011. 위험평가모형 (Trophic Trace)을 이용한 가상 해양오염 퇴적물의 쥐노래미와 인체 영향 예비평가 해양오염퇴적물이 어류 및 인간에 미치는 위험 예비평가. *대한환경공학회지* 33(1): 60~70.
- [8] Waldichuk. M. 1985. Biological availability of metals to marine organisms. *Mar. Poll. Bull.* 1985, 16, 7-11.
- [9] United States Environmental Protection Agency (USEPA) 1999. Partition Coefficients for Metals in Surface Water, Soil, and Waste 1-93. Prepared by HydroGeoLogic, Inc., and Allison Geoscience Consultants, Inc. for the Office of Solid Waste.
- [10] Wang, W.X., Fisher, N.S. and Luoma, S.N. 1996. Kinetic determinations of trace element bioaccumulation in the mussel *Mytilus edulis*. *Mar Ecol. Prog. Ser.* 140:91-113.
- [11] Wang, W.X. and Rainbow, P.S. 2008. Comparative approaches to understand metal bioaccumulation in aquatic animals. *Compar. Biochem. Physiol. Part C* 148: 315-323.
- [12] von Stackelberg, K. and Bridges, T.S. 2002. A management guide for atiered risk assessment procedure for evaluating bioaccumulation data collected during regulatory evaluations of dredged material. 1-31.
- [13] 한국농촌경제연구원 2014. 식품수급표 2014.



# 준설토 연구, 정화·재활용 분야 활성화에 대한 제언

-준설, 정부·지자체·환경단체 함께 힘 모아야-



Journal of Korean  
Environmental  
Dredging Society

## Proposal for future research on remediation and reuses of dredged materials in Korea

원호섭\*

Hoseob Won\*

매일경제신문사 편집국 과학기술부  
서울특별시 중구 퇴계로 190

Science & Technology Depart. Mael Business Newspaper .  
Maekyung Media Center, 190, Toegyero, Jung-gu, Seoul. 04627

\*: 교신저자(원호섭: e-mail: wonc@mk.co.kr , Tel.02-2000-2382)

### I. 서언

연간 2500만 m<sup>3</sup>, 10년 동안 쏟아져 나오는 준설토는 남산 부피의 5배.

한국에서 과거 10년 동안 발생한 해양준설 퇴적물의 양이다. 지금까지 한국은 이렇게 발생하는 해양 준설토를 매립하거나 다시 바다에 투기했다. 그러나 2016년 이후 해양 퇴적물과 수산물의 오염 방지를 위해 준설토의 해양투기가 금지 됐다. 준설된 퇴적물은 폐기물로 간주되어 투기장에 폐기된다. 퇴적물의 오염은 해양 수괴와 서식하는 생물, 나아가 수산물로의 축적 가능성을 가지고 있어 인간에게까지 영향을 미친다. 퇴적물이 오염되어 인간에게까지 피해를 입힌 예는 1950년대 초 일본 규슈 미나마타 어촌에서 발생한 '미나마타병'이 대표적이다. 공장 폐수에서 흘러 나온 유독물질이 퇴적물에 쌓이고 먹이단계를 통해 축적되며 생물 독성이 증가한 사례다. 미나마타병 때문에 일본에서는 43명이 사망했으며 11명이 치유 불가능한 마비 증상이 발생했다. 폐수에 있는 수은이 원인이 었다. 1970년대 미국 허드슨 강에서도 퇴적물이 오염되면서 낚시가 금지된 적이 있다.

정부 보고서에 따르면 국내 21개 오염우려 해역 중 약 70%의 해역에서 정화기준을 상회하는 유기물과 중금속, 그리고 유기오염물질 (PCB 등)이 검출되어 오염퇴적물정화사업(현재 준설 등의 사업 형식으로 추진)이 필요한 지역으로 보고되었다. 퇴적물을 준설하고(환경준설) 이때 발생한 준설토를 바다에 다시 매립(재배치)한다면 해양 환경에 어떤 문제가 발생할지 모른다. 그렇다고 준설토 투기장 건설이 해결책이라고 볼 수는 없다.

### II. 본론

해안의 개발과 기능 유지를 위한 준설사업은 여전히 연간 2500만 m<sup>3</sup>의 준설토를 발생시키고 있으며 현재까지 발생하는 준설토의 처리를 위한 방안으로 신설 투기장 건설과 해역 배출 ("무"해역 및 폐기물 배출해역)에 의존해왔다. 신설 준설토 투기장 건설은 항만기본계획 및 공유수면매립기본계획에 반영되어 조성까지 약 5~7년이 소요, 조성 비용 역시 수백억 원 이상이 필요하다. 또한 조성 시 지자체, 환경단체, 주민들과의 합의 과정에서 어려움을 겪고 있다. 특히 지난 2005년 경남 진해 신항만 건설 사업 시

한국환경준설학회지 제 5 권 1 호 2017 년 3 월

준설토 투기장에 투기된 퇴적물의 유기물 때문에 '깔따구'가 대량 발생해 인근 지역 주민들이 피해를 보기도 했다. 신항만 공사로 인해 만들어진 준설토 투기장에 쌓인 준설토가 문제였다. 깔따구 습격과 관련해 법원은 해양수산부와 시공사가 주민들에게 13억원을 배상하라고 판결했고 이 사례는 이후 준설토 투기장의 건설에 있어 시민들의 환경 우려를 야기했다. 인천의 경우 준설토투기장과 국제공항을 비롯한 해안의 축조 사업과 이로 인한 조류 흐름의 변화 및 갯벌 생태계 교란 문제로 영종2지구 개발에 대한 반발이 거세지고 있는 실정이다.

그러나 최근 임진강유원지 조성 사업은 준설토 확보에 난항을 겪으며 부진한 추진을 보인 경우도 있었다. 현재 국내에서 시행되는 유지준설에서 발생한 준설토는 매립사업으로 거의 소진되고 필요시 부족한 경우가 발생하고 있다. 그러나 한편에선 여전히 준설토를 배치 하기 위한 투기장이 건설하기 위해 그리고 건설 이후에 다양한 사회문제를 야기하고 있는 것이다.

하지만 모든 준설토가 오염되어있는 것은 아니다. 준설토에 대한 일반인의 오해는 '오염되어 있다'는 것. 실제 준설토의 90%는 오염되지 않았다. 투기장에 버려야 한다는 것은 편견이며 투기장 필요라는 또 다른 예산 낭비를 야기한다. 결국 일시적인 해결안 일 수 있다. 오염이 심한 준설토를 해양에 투기할 경우 환경 문제를 야기할 수 있지만, 그렇지 않은 경우 잘만 활용한다면 다양한 분야에 적용이 가능하다. 실제로 유지준설에 의한 준설퇴적물은 항만 공사에 사용되고 있다. 여전히 '개발'은 필요하고, 준설토는 쌓일 수밖에 없다. 주민과 정부, 환경단체 간 분쟁은 앞으로 빈도가 잦아지고 분쟁 양상도 심해질지 모른다. 투기장 행으로 결정된 준설토의 활용에 대한 연구가 필요한 시점이다.

준설토를 재활용하기 위해서는 건설 사업에 활용될 수 있는 입자를 효율적으로 선별(분리)하거나 정화하고, 환경 안전성을 확보한 상태로 적치하거나 필요시에 공급할 수 있도록 하는 기술들이 요구된다.

실제로 국외에서는 준설토를 고형화하여 오염물질의 재용출을 저감시켜, 폐기물 매립지의 복토재나 기능성 건설토로 활용한 예들이 있다. 중국의 경우 준설물질을 혼합하여 교반해 고형화 처리를 한 시멘트를 과학기술 산업단지 건설에 활용했다. 독일 북부에 위치한 발트해는 준설토를 과수원에 이용했다. 유기물을 다량 함유하고 있는 준설토는 식물이 자라기에 좋은 환경 조건을 갖고 있다. 독일은 흙과

준설토를 합해 토지를 비옥하게 하는 기술 개발에 성공했고 이를 과수원에 활용한다. 이밖에 도로 건설재료는 물론 콘크리트 골재, 벽돌 제조용 원료 등에 활용한 사례도 있다.

이처럼 해외에서는 오염된 준설토를 재활용하는 기술이 이미 상용화되어 있다. 유럽에서는 해양퇴적물을 재활용하는 양이 약 55%에 달한다. 가까운 일본만 하더라도 준설물질을 이용해 오니미치-시토사키 항에 조개 양식장을 건설했다. 하지만 한국은 정화 및 유효활용 기술이 없어 이를 재활용하는 사례가 전무한 상황이다. 준설토를 폐기물로 인식하는 것부터 국외 사례와 비교된다.

4대강 사업으로 인해 현재 축구장 220여개 면적의 농지에는 여전히 준설토가 쌓여있다. 정부의 잘못된 정책으로 인한 문제는 후에 선거나 법적 문제로 해결한다 치더라도, 어쩔 수 없이 현실에 존재하는 준설토를 처리하고 이용할 수 있는 방안을 모색해야 한다. 이도 저도 할 수 없는 상황에서 우리는 과학기술에 기대를 걸 수밖에 없다.

### III. 결론

2010년 이후 준설물질의 해양배출 총량 중 "무"해역 배출량이 감소는 폐기물 배출 해역의 배출양 증가로 설명된 바 있다. 준설토 투기장의 수용량 제한은 폐기물 배출해역 처분량의 급격한 증가를 야기할 것이다. 준설물질은 폐기물이 아닌 다양한 활용가능성을 가진 천연자원이다. 전 세계적으로 다양한 준설물질 활용방안이 존재하는 만큼 우리도 늦지 않게 관련 규제를 풀고 연구개발(R&D)을 시작해야 한다. 준설토 활용에 대한 R&D는 단기간에 끝낼 수 있는 것이 아니다. 정부는 물론 관련 연구기관이 힘을 모아야만 한다. 런던 의정서 발의 이후, 전 세계적으로 준설물질의 해양투기와 매립은 줄고 있다. 우리도 국격에 맞는 준설토 재활용 기술을 보유해야 하는 시기다.

## 기술자료

### • 런던의정서 과학그룹 회의 동향

- Technical Guidelines for In Situ Sediment Remediation Submitted by the United States  
미국 육군 공병단의 퇴적물 현장정화 기술지침 (미국제출)

: 현재 미국 육군공병단에서 준비중인 현장 퇴적물 정화기술 지침서의 평가, 설계, 이행, 모니터링 하는 기술에 대한 요약 설명 문서임  
본 현장정화기술은 강화된 자연복구 모니터링, 물리화학적 안정화를 위한 캡핑 및 수정안의 사용을 포함한 내용을 다루었음.





SCIENTIFIC GROUP OF THE LONDON  
CONVENTION – 40th Meeting; and

LC/SG 40/INF.17  
10 February 2017  
ENGLISH ONLY

SCIENTIFIC GROUP OF THE LONDON  
PROTOCOL – 11th Meeting  
27-31 March 2017  
Agenda item 2

## **WASTE ASSESSMENT GUIDANCE**

### **Technical guidelines for in situ sediment remediation**

#### **Submitted by the United States**

#### **SUMMARY**

*Executive summary:* The United States Army Corps of Engineers (USACE) is preparing technical guidelines for evaluating, designing, implementing and monitoring in situ sediment remediation technologies. The guidelines are being prepared for the United States Environmental Protection Agency (EPA) Office of Superfund Remediation and Technology Innovation for use by federal and state regulatory agencies, stakeholders and remediation practitioners. The remediation technologies considered include enhanced monitored natural recovery, isolation capping for physical and chemical stability, and in situ treatment, including the use of amendments. Case studies are provided to demonstrate the application of these technologies.

*Action to be taken:* Paragraph 14

*Related documents:* None

#### **Introduction**

1 This technical resource document is being developed by the United States Army Corps of Engineers (USACE) Engineer Research and Development Center (ERDC), Environmental Laboratory (EL), Vicksburg, Mississippi to provide technical guidance for evaluating, designing, implementing and monitoring in situ remediation at subaqueous contaminated sediment sites. In situ remediation technologies discussed herein include enhanced monitored natural recovery, isolation capping, and in situ treatment. The document is being prepared for the United States Environmental Protection Agency (EPA) Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, Washington, DC.



2 Contaminated sediment sites are widespread and pervasive in the Nation's waters and potentially pose adverse risk to human health or the environment (USEPA 2004). While point and non-point sources of contamination entering our waterways has been controlled substantially, much work remains in cleaning up historically contaminated sediments and restoring the affected aquatic environment.

3 Options commonly considered for remediation of contaminated sediments include monitored natural recovery (MNR), in situ capping, and environmental dredging or excavation followed by treatment or disposal (ITRC 2014). A number of sediment clean-up projects have pursued the dredging option where the goal was to remove the contaminants from the waterway with subsequent destruction of contaminants or disposal in a secure facility. Results from a number of these environmental dredging projects, however, have not fully met clean-up goals due to the physical and engineering challenges that affect sediment removal efficiency (Patmont and Palermo 2007, Bridges et al. 2008, Battelle and Sea Engineering 2010). Thus, the costs of these projects have often exceeded their estimated budgets for site remediation. In recent years, non-dredging options (enhanced monitored natural recovery, in situ capping, and in situ treatment using amendments) have been receiving more attention and consideration as components of site remediation. For example, in situ treatment techniques to enhance sequestration of contaminants in the sediment matrix have been demonstrated to improve the effectiveness of enhanced monitored natural recovery (Magar et al. 2009) as well as in situ isolation capping.

### **Purpose and scope**

4 This technical guidelines document focuses on all active in situ remediation approaches for contaminated sediment sites where remediation materials are placed at the site (clean fill to enhance MNR, amendments to sequester or treat the contamination in the sediment, materials to stabilize or armour the site, sediment or amendments, and capping materials to isolate sediment and sequester contaminants within the cap). The guidelines are intended to support the 2005 USEPA *Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites* (USEPA 2005). This document updates information in the *Guidance for In-Situ Subaqueous Capping of Contaminated Sediments* (Palermo et al. 1998) and complements the *Technical Guidelines for Environmental Dredging of Contaminated Sediments* (Palermo et al. 2008) and *Monitored Natural Recovery at Contaminated Sediment Sites* (Magar et al. 2009) documents.

5 This technical guidelines document provides guidance for evaluation, design and implementation of contaminant exposure reduction technologies as components of contaminated sediment environmental remediation projects. The focus is primarily on items that need consideration during design and implementation. This document presumes that the decision to use in situ remediation has already gone through a feasibility study process. However, information in this document is also relevant during the remedial investigation and feasibility study phases, providing data needs, screening considerations and comparisons among in situ remediation technologies. Readers of this document who are involved in the early evaluation stages of a site should consult USEPA (2005), USEPA (1998), ITRC (2014) for a more in-depth discussion of site characterization, risk screening, RAO development, remedy selection, and other details of the overall site assessment process. From a technical perspective, this guidance is also applicable to dredged material capping projects in inland waters.

6 This document is primarily intended for federal and state project managers in the United States and remediation practitioners considering remedial response actions or non-time-critical removal actions under the United States Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act (CERCLA), more commonly known as

"Superfund." Technical aspects of the guidelines are also intended to assist project managers addressing sediment contamination under the United States Resource Conservation and Recovery Act (RCRA). Many aspects of this guidance may also be useful to other governmental organizations within the United States and potentially responsible parties (PRPs) that are conducting a sediment clean-up under CERCLA, RCRA, the United States Clean Water Act (CWA) or the United States Water Resource Development Act (WRDA). This guidance may also be useful to members of the stakeholder community and their technical representatives. In addition, the technical guidelines provides useful information for all practitioners of contaminated sediment remediation worldwide, particularly for screening, designing, evaluating, implementing and monitoring contaminated sediment remediation alternatives.

### **Sediment remediation technologies**

7 Subaqueous capping is the controlled, accurate placement of a covering or cap of suitable isolating materials over in situ contaminated sediments or previously placed unsuitable dredged materials. In situ capping can remedy some or all of these adverse impacts through three primary functions (Palermo, et al. 1998):

- .1 physical isolation of the contaminated sediment from the benthic environment and water column;
- .2 stabilization of contaminated sediments, preventing resuspension and transport to other sites; and
- .3 reduction of the flux of dissolved contaminants into the water column.

8 Capping materials may include clean sediments, sands, gravels, sand/silt/clay mixtures, or may involve a more complex design with geotextiles, liners, armor stone, reactive amendments and multiple layers. Conventional placement equipment and techniques are frequently used for a capping project, but these practices must be controlled more precisely than for conventional placement. Specialty equipment is often required for placing materials in complex capping designs.

9 In situ treatment is the in-place chemical, physical, or biological degradation or sequestration of contaminants in bottom sediments (USEPA 2005). This document focuses discussion of in situ treatment techniques that reduce contaminant transfer up the food web by reducing uptake by benthic organisms. Uptake reduction is predominantly achieved through sequestration which limits contaminant bioavailability through the application of sorbent materials such as activated carbon. In situ treatment also reduces the direct contaminant flux to the water column. Application of bentonite, clay polymers, and pozzolanic materials can bind contaminants and reduce permeability to reduce contaminant flux induced by groundwater advection. This document also addresses the emerging approach of enhanced in situ contaminant degradation, chemically or biologically, although effectiveness and implementation of these technologies has not been demonstrated to date. The efficacy and applicability of these technologies may be more limited in marine environments due to chemical interferences, high ionic strengths, and potential for less sediment stability.

10 Enhanced monitored natural recovery is the acceleration of a proven ongoing recovery process by engineering means, usually the addition of a thin layer of clean sediment to provide an initial stimulus for the burial process and to reduce bioactive zone contamination concentrations. The clean sediment may be placed as a uniform thin (a few inches) layer, or in berms or windrows that can be further distributed by natural sediment transport processes. As an alternative, flow control structures for the waterway may be designed and placed to encourage sedimentation in the area of contamination (USEPA 2005).

## Project status

11 The guidelines are currently in the final stages of preparation with expected external peer review in late spring 2017. The schedule calls for completion of the final guidelines during the summer of 2017 and publication and distribution in the fall of 2017.

12 For further information please contact: Paul R. Schroeder, [Paul.R.Schroeder@usace.army.mil](mailto:Paul.R.Schroeder@usace.army.mil) or United States Army Engineer Research and Development Center, 3909 Halls Ferry Road, Vicksburg, MS 39180.

## References

13 For further reading please refer to the following documents:

Battelle and Sea Engineering, Inc. 2010. *Field Study on Environmental Dredging Residuals: Ashtabula River. Volume I. Final Report.* US Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, OH. EPA/600/R-10/126. 69pp.

Bridges, T.S., S. Ells, D. Hayes, D. Mount, S.C. Nadeau, M.R. Palermo, C. Patmont, and P. Schroeder. 2008. *The Four Rs of Environmental Dredging: Resuspension, Release, Residual, and Risk.* US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. ERDC/EL TR-08-4.

ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council). 2014. *Contaminated Sediments Remediation, CS-2.* Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, Contaminated Sediments Team. [http://www.itrcweb.org/contseds\\_remedy-selection](http://www.itrcweb.org/contseds_remedy-selection).

Magar, V.S., D.B. Chadwick, T.S. Bridges, P.C. Fuchsman, J.M. Conder, T.J. Dekker, J.A. Steevens, K.E. Gustavson, and M.A. Mills. 2009. Technical Guide. *Monitored Natural Recovery at Contaminated Sediment Sites.* ESTCP Project ER-0622. Department of Defense. Environmental Security Technology Certification Program.

Palermo, M., S. Maynard, J. Miller, and D. Reible. 1998. *Guidance for In-Situ Subaqueous Capping of Contaminated Sediments,* EPA 905-B96-004, Great Lakes National Program Office, Chicago, IL.

Palermo, M.R., P.R. Schroeder, T.J. Estes, and N.R. Francingues. 2008. *Technical Guidelines for Environmental Dredging of Contaminated Sediments,* ERDC/EL TR-08-29, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.

Patmont, C., and M. Palermo. 2007. *Case Studies of Environmental Dredging Residuals and Management Implications.* In Proceedings, 4th International Conference on Remediation of Contaminated Sediments, January 22-25, 2007, Savannah, GA, USA.

USEPA. 1998. *Guidance for Conducting Remedial Investigations and Feasibility Studies under CERCLA.* U.S. Environmental Protection Agency, Office of Emergency and Remedial Response. EPA/540/G-89/004, OSWER 9355.3-01 October.

USEPA. 2004. *Updated Report on the Incidence and Severity of Sediment Contamination in Surface Waters of the United States, National Sediment Quality Survey.* U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC. EPA-823-R-04-007. November.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2005. *Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC, OSWER 9355.0-85. Available as of publication at <http://www.epa.gov/superfund/health/conmedia/sediment/guidance.htm>

**Action requested of the Scientific Groups**

14 The Scientific Groups are invited to take note of the information provided and comment, as they deem necessary.

---





한국환경준설학회지 제5권 1호  
Journal of Korea Environmental Dredging Society  
Volume 5, Issue 1

# 언론에서 보는 국내·외 환경준설 소식



# 언론에서 보는 국내·외 환경준설 소식

## Domestic and foreign environmental dredging news

### 국내 환경준설 소식

#### ■ 해양

##### [전남 여수]

울촌제2산업단지는 총 면적 3.79 km<sup>2</sup>(115만 평)를 개발할 예정이다. 1단계 2.1 km<sup>2</sup>(64만 평), 2단계 1.69 km<sup>2</sup>(51만 평)로 단계별로 조성을 할 예정이며, 준설토 매립을 시작해 2017년까지 완료할 계획이다. 또 울촌2산단은 광양항과 여수공항이 인접해 주변국도와 접근성이 좋다는 평을 받고 있고, 바다와 인접하고 있어 부두를 이용할 수 있어 입지여건이 좋은 편이어서 인근 여수국가산단 등 관련 기업들이 많은 기대를 하고 있음. (포커스뉴스, 2016-12-01)

##### [경기 인천]

인천항만공사(IPA)는 지난 10월 착수한 북항 동방부두 및 내항 준설공사에 이어 이달 중순부터 남항 역무선 2·3·4잔교에 대한 부두 준설을 시작한다고 6일 밝혔다. 준설 예상 물량은 6만2000 m<sup>3</sup>로 공사는 내년 2월 마무리될 전망이다, 이번 공사로 수심을 확보해 안전사고 예방과 선박 입출항 환경의 개선 효과를 기대하고 있음. (뉴스1, 2016-12-06)

##### [제주]

어촌정주어항에 항입구를 중심으로 모래와 자갈 등이 유입 퇴적돼 간조 시 출어 포기가 불가피하고 소득 감소로 이어질 뿐만 아니라 어선 좌주 등 재산피해가 발생해 경제적 손실을 입고 있음. 항구의 원활한 기능 회복과 안정적인 어업활동 지원을 위해 해수욕장 인근어항 2개소에 대해 모래와 자갈 등 퇴적물 준설에 들어갈 예정이다. 시는 어항기를 이용해 1억5000만 원을 투입해 저조 시 평균수심 1.5 m 유지하기 위해 침적된 자갈과 모래 등 8088 m<sup>3</sup> 준설을 추진 중이며, 12월 말까지 완료할 예정이다. (한라일보, 2016-12-14)

##### [경기 화성]

화성시 기아자동차 공장 앞 남양만에 항만을 포함한 대규모 산업단지가 들어설 전망이다. 이 항만이 완성차 및 부품 수출입 통로 역할을 할 것으로 보여 남양만 산업단지가 지역을 넘어 국가경제 활성화에 이바지하는 수출입 핵심

전진기지로 성장할 것으로 전망됨 또 남양호 퇴적물을 준설해 이를 남양만 매립에 사용하여 산업단지를 조성함에 따라 그 동안 농경지 침수 등의 큰 피해를 준 남양호 준설도 해결 될 것이라 전망됨. (경인일보, 2016-12-26)

##### [전국]

해양수산부는 2023년까지 총 1조8천8백억 원을 투입, 8개 대형 항만건설 사회간접자본(SOC) 확충사업을 추진할 계획이라고 밝혔다. 부산 신항, 입구부에 위치하여 초대형 컨테이너 선박 입출항 시 걸림돌이 되었던 무인섬 토도를 제거하기 위한 공사에 총 3,428억 원을 투입하여 2020년까지 완료할 계획이다. 환적 무역항인 부산항의 선박 출입로를 정비하여 환적 경쟁력을 강화할 수 있을 것으로 기대되고 있음. 인천 신항, 개발공사 과정에서 발생하는 준설토를 처리하기 위한 준설토투기장 건설사업에 2020년까지 총 2,911억 원을 투입할 계획이다. 준설토 투기 작업이 완료되면 367만6천 m<sup>3</sup>의 배후부지가 마련되어 항만복합물류단지를 형성할 수 있을 것으로 기대되고 있음. 울산 신항, 남항지역 오일허브 2단계 부두 수면 등을 안정적인 상태로 유지하기 위한 남방파제(2-2단계) 축조공사(총 공사비 3,537억 원)를 올해 10월에 착공할 계획이다. 동해 신항, 3단계 북방파제 후속사업인 제1공구(공사구역) 방파호안 건설사업(2,149억 원을 올해 8월 착공하여 2021년 2월까지 준공 완료할 계획이다. 새만금 신항, 지난해 3.1 km 길이의 방파제가 완공된 것을 시작으로, 올해 안에 부두개발에 필요한 진입도로 700 m 및 방파호안 1.5 km, 준설토투기장 1.8 km 건설 사업을 진행할 계획이다. 영일만항, 기존 방파제(3.61 km) 시설물을 보강하여 항 내 정온도\*를 확보하고 항만운영의 안정성을 도모하기 위한 사업(2,418억 원)으로, 올해 9월에 착공하여 2023년 말까지 사업을 완료할 계획이다. (국제뉴스, 2017-01-31)

##### [경기 평택]

평택해양경비안전서는 지난 11일 평택·당진항 내항 해상에 정박하고 있던 800 t급 준설작업선 A호가 침몰했다고 함. 사고 당시 이 선박에는 승선 인원이 없어 인명피해는 없었으나 기름 일부가 해상으로 유출되어 해경은 사고 발생 직후 침몰 선박 주변에 오일펜스를 설치하고 해경구조대와 해군 2함대 및 민간잠수부 등을

투입해 추가 기름 유출을 차단했으며 일부 유출된 소량의 기름은 방제작업을 완료됐다고 밝힘. (경기일보, 2017-02-11)

**[경기 인천]**

한국해양과학기술원(KIOST)은 인천 어민들을 대상으로 설명회를 열고 송도 공유수면 매립, 인천신항 진입항로, 인천항 접근항로 준설사업에 따른 어업피해조사 최종 결과를 발표함. 조사 결과에는 생산 피해율은 무의도 없음, 영흥도 0.3%로 나타났고, 보상 기준일 기준 어업신고 미처분 등 106건이 제외됨. 어민 들은 "갯벌이 4 m 이상 깎이고 해저케이블이 드러날 정도의 환경 변화가 있는데 ‘어업 피해가 없다’는 결론 을 어떤 어민이 믿겠느냐"고 질타함. 김종관(KIOST)박사는 “3개 사업이 미치는 영향조사를 군산대에서 하고 있으니 결과가 나오면 재차 피해조사를 하겠다”고 덧붙임. (기호일보, 2017-02-19)

**[경남 부산]**

오는 2020년까지 부산항 신항에 준설토 투기장이 건설됨. 해양수산부와 부산지방해양수산청 부산항 건설사무소는 부산항 신항 송도 2구역(경남 창원시 진해구 수도동)에 준설토 투기장 확충을 위한 호안축조 공사를 시작했다고 밝힘. 2020년까지 총 사업비 750억 원을 투입해 수용량 1056만 m<sup>3</sup>(총 1.6 km) 규모로 조성됨. 공사 기간은 2020년 2월까지 3년 예정. (뉴스토마토, 2017-02-21)

**[전북 군산]**

군산해수청이 추진하는 군장항 항로준설 2단계 사업과 관련, 준설항로의 해저 지반 상태를 정확히 반영치 않은 허술한 설계로 논란 야기. 2015년부터 준설공사가 진행되고 있지만 공사현장에서는 당초 설계상 예기치 못했던 장애물이 나타나고 육상 배사관의 잇단 파공으로 준설선의 작업중단이 이어지고 있는데도 공사 현장에서는 설계변경이 제대로 이뤄지지 않아 작업중단에 따른 준설선 대기비용정산을 둘러싸고 갈등이 폭발할 조짐. 문제점이 해결되지 않을 경우 해수청이 시행하고 있는 준설공사가 계속 파행을 겪을 것으로 우려됨. (전북일보, 2017-03-05.)

**[전북 군산]**

새만금 산업단지 6공구 매립 공사 착공. 군산항로는 수심이 얕아 준설이 필요했지만 적기에 이뤄지지 못해 2만 톤 이상 대형 선박의 입출항 시간이 하루 9시간으로 제한되는 등 군산항의 기능이 떨어지는 문제가 발생했었음. 2015년 5월 정부의 ‘공공기관 기능조정 방침’에 따라 직접 개발이 제한됐던 농어촌공사가 군산항로 준설을 통해 산업단지 매립 사업을

재개했다는 데 의미가 있음. (매일건설신문, 2017-03-06)

**[경북 문경]**

문경시 하수도사업소는 관내 14개 대행업체 관계자와 건설현장 대리인을 대상으로 하수도 시설 설치기준 및 공사장 내 안전관리 교육을 실시. 또한, 시공회사 관계자로부터 공사추진과정 애로사항 질의·응답 시간을 가짐. (엘뉴스, 2017-02-14)

**■ 하천, 저수지**

**[경북 상주]**

남원동은 매년 찾아오는 가뭄 해결에 따른 저수용량 확보를 위해 수대저수지(연원동 소재)와 남장저수지에 지난 11월부터 준설작업을 시작했음. 1961년에 준공된 수대저수지(저수용량 5만4000 m<sup>3</sup>·몽리면적 6ha)와 1970년에 준공된 남장저수지(저수용량 62만7000 m<sup>3</sup>·몽리면적 21 ha)는 그 동안 연원동과 남장동의 벼 재배농가에 주된 수원으로서 역할을 하고 있었지만, 오랜 기간 동안 쌓인 퇴적으로 인해 저수용량 확보에 많은 어려움이 있었음. 이번 준설 작업이 완료되면 2개의 저수지는 퇴적으로 손실된 당초 저수용량을 회복 할 것으로 예상되며, 가뭄이 발생했을 때 농업용수 공급에 한층 도움이 될 전망이다. 전병군 동장은 “이번 저수지 준설로 해마다 반복되는 농가의 가뭄 걱정을 덜어 줄 것으로 기대되며, 앞으로도 농업기반시설에 지속적인 관심을 가져 농민들에게 실질적인 도움이 될 수 있도록 최선을 다하겠다”고 밝힘. (경북도민일보, 2016-12-05)

**[강원 고성]**

한국농어촌공사 고성·통영·거제지사는 하이저수지 농업용수 저수량 확보를 위해 2억원의 사업비를 들여 저수지 준설사업을 할 예정임. 준설 사업을 오는 연말 준공계획으로 진행하고 있으며 준설사업을 통해 용수공급능력 확대, 오염물질을 제거하여 수질 개선효과, 저지대 농경지에 준설토를 매립함으로써 우량농지 조성 등을 기대중임. (경남일보, 2016-12-08)

**[경기 여주]**

행정자치부의 정부합동감사 자료에 따르면 4대강 사업 과정에서 퍼 울린 준설토 적치 량 3524만 m<sup>3</sup> 가운데 판매량은 35% 수준인 1230만 m<sup>3</sup> 규모에 그쳐 준설토 판매가 지연되면서 적치장의 농지일 시사용허가 연장기간이 만료되어 농지법을 위반하게 됐음. 현재 시는 준설토 조기 소진을 위해 2013년 1월부터 준설토 원석을 모래·자갈로 선별(용역) 판매하는 직영사업을 진행하고 있으나 연간 평균 판매량이 150만 m<sup>3</sup>에 불과해서 2031년이 되어야 남은 준설토를 모두 소진할

것으로 예측되었음. 그럼에도 여주시는 전문용역 실시 등을 통한 대책 마련을 하지 않고 업무를 태만하게 하고 있어 큰 문제가 되고 있음 (아시아투데이, 2017-01-03)

**[강원 홍천]**

강원 홍천군은 2017년 봄 가뭄에 효과적으로 대처하기 위해 관내 노후저수지 준설사업과 보수보강사업을 추진한다고 밝혔다. 군은 총예산 약 8000만원으로 지난해 12월부터 저수지 준설사업을 추진하여 남면 유목정저수지와 북방면 굴지저수지, 구만리 북정저수지는 준설을 완료하였으며, 올해 또 봄 가뭄에 효과적으로 대처하기 위해 관내 노후저수지 준설사업과 보수보강사업을 추진한다고 밝혔다. 현재 군은 지난해부터 노후저수지에 대한 관리와 체계적인 보수보강을 위하여 한국수자원공사에 노후저수지에 대한 전수조사를 의뢰하여 그 결과를 바탕으로 누수가 발생하는 저수지에 대한 지질조사를 추진하는 등 세부적인 보수 계획을 수립중임. (포커스 뉴스 2017-01-17)

**[경기]**

하천의 제방, 호안, 수문, 하도 등에 대해 홍수기에 발생한 손상이나 결함 등을 직접 전수조사 및 현장점검을 실시해 확정된 정비사업 대상지 104개소 대상으로 총 83억 원의 사업비를 들여 집중호우 대비 지방하천 유지관리 사업을 추진 한다고 밝힘. 경기도 하천과장은 지방하천 유지관리 사업을 우기 시작 전에 조속히 완료하고, 지속적 이고 체계적인 하천 유지관리로 자연재해를 대비 하는데 최선을 다할 것이라고 밝힘. (머니투데이, 2017-01-19)

**[전국]**

국민안전처는 봄 가뭄이 우려되는 지역에 양수장을 설치하고 저수지를 준설하는 등 대책을 마련 중이라고 입을 밝힘. 또 농림축산식품부, 국토교통부 등 관계 부처와 매주 점검 회의를 열어 가뭄 대책을 마련해 추진 중에 있다고 설명함. 국민안전처에 따르면, 올해 강수량은 평년과 비슷하거나 많을 것으로 예상되어 전국적 물 부족은 없을 것으로 전망되지만, 경기 등 일부 지역은 가뭄이 우려되어 양수시설 설치 및 담수화 시설 운영 등 대책을 추진중임. (디오테오, 2017-02-06)

**[경북 포항]**

부산지방국토관리청은 효자2지구 하천정비사업을 추진 중임. 상수도보호구역인 형산강 취수정 인근에 가동보를 설치하고 자전거가 다닐 수 있도록 계획 중인데, 생태 전문가들은 형산강은 사계절 내내 천연기념물을 관찰할 수 있는 몇 안

되는 곳인데 계획이 실행될 경우 희귀 종들은 영영 볼 수 없을 것임을 경고하였음. 포항환경운동연합 사무국장은 “개발이 주변 환경에 어떤 영향을 미칠지를 철저히 조사한 후 생태전문가들과 함께 환경을 지킬 방안을 강구하겠다”고 말함. (디오테오, 2017-02-09)

**[충남 서산]**

충남도가 봄 가뭄 대비 ‘농업용수 확보’에 온 힘을 기울이고 있는 가운데 서산시 해미면 산수저수지가 겨울 가뭄으로 바닥을 드러내 보임. 지난해 강우량은 778mm로, 평년 대비 58.8%에 불과해 시에서 관리하는 저수지의 저수율은 57%까지 떨어짐. 시는 7억 원을 투입해 간이양수시설 및 송수관로 총 2.4 km를 설치하는 등 선제적 대응에 총력을 기울일 예정임. (조선일보, 2017-02-14)

**[강원 평창]**

평창군은 우기 전까지 '2017년 재해예방 하천유지보수사업' 추진을 밝힘. 하천이나 소하천 주변의 세굴, 침식 등의 피해 우려 지역 대상으로 통수단면 확보, 토사유실 방지 등 하천피해 예방사업을 추진. 사업은 호안정비(5개소)와 하천준설(1개소)로 이뤄지며 강원도에서 교부한 재난관리기금 1억5000만 원에 군비 1억5000만 원을 확보해 사업을 추진. 3월 중 실시설계와 공사에 착수해 우기 전 사업을 완료할 예정임. (피디언, 2017-02-15)

**[전북 군산]**

금강하구둑~금란도 해역에 매몰된 토사를 준설을 통해 자원화함으로써 항만과 함께 지역발전을 도모하는 방안을 모색할 것이 지적됨. 정부의 예산지원부족으로 준설작업이 장기간 이뤄지지 않고 있는 금강하구둑~금란도 해역에 매몰된 토사는 자원으로서의 활용가치가 높은 것으로 평가되고 있는데 따른 것. 또한 매년 땀질 식 준설로 인한 예산낭비논란을 차단할 수 있고 효율적인 준설로 수심확보문제를 근본적으로 해결할 수 있을 것으로 기대되기 때문임. (전북일보, 2017-02-21)

**[경북]**

국토교통부와 한국수자원공사가 4대강 보 수문을 일시 개방하는 '펄스형 방류'를 했는데, 수위가 낮아지면서 폐 준설장비(닷, 파이프 등)가 모습을 드러냄. 경남환경운동연합 부설 시민환경연구소 실장은 "4대강사업 준설 장비를 다 들어내지 않고 강 속에 그대로 두었던 것 같다"며, "폐 준설장비가 부식되면서 수질을 오염시키게 되고, 어업에 지장을 준다. 정부는 폐 준설장비에 대한 정밀 조사 및 수거 대책을 세워야 할 것"이라 함.

(오마이뉴스, 2017-02-27)

**[충남 보령]**

국민안전처가 발표한 ‘가뭄 예·경보’ 발표에서 보령시는 기상가뭄 ‘주의’단계로, 지난 1년간 누적 강수량이 평년의 63%에 불과하고, 특히 보령댐 저수율은 지난 27일 기준 17.4%로, 현 상태로는 3월 하순 ‘경계단계’ 돌입이 불가피하며 대체 수원 개발 등이 절실함. 이에 대책을 논의하기 위해 관계 공무원이 가뭄대책 실무자 회의를 가짐. 보령시는 지난해부터 가뭄 극복을 위해 저수지 준설 등 167개소에 52억 5000여만 원을 투입하는 등의 노력을 기울이고 있음. (디트뉴스24, 2017-02-28)

[전북] 진안군은 31일까지 지방하천 준설과 기성제 정비 사업을 실시한다고 밝힘. 준설사업은 지방하천인 구량천 등 31개 하천이 대상이며 5억5000만 원을 투입함. 유수에 지장을 주는 퇴적토와 수목에 대한 정비가 실시됨. (디오데오, 2017-03-02)

**[경기 군포]**

안양천은 군포시를 비롯한 13개 기초지방자치단체가 함께 안양천 살리기 네트워크를 통해 정화 작업을 하는 하천임. 그런데 안양천 군포담당지역의 나무를 모두 베는 일이 있었음. 담당자의 말은 ‘하천 준설 공사 매뉴얼에 따라 한 것’이라 함. ‘(사)자연과 함께하는 사람들’ 측은 “사행하천이어야 다양한 생물이 살 수 있고 맑은 하천이 되는데, 나무를 모두 베어 하천을 고르게 하는 것이 매뉴얼이라면, 군포시 행정과 공무원에 문제가 있는 것이다”며 생태, 조경에 대한 교육과 시민들의 자발적인 신고를 강조. (군포시민신문 (풍자), 2017-03-06)

**■ 기타 공공 수역**

**[전북 임실]**

하수도 맨홀과 관로 등에 쌓여있는 슬러지로 인해 하수관로가 막히고 하수가 역류되고, 악취가 발생되어 주민들의 불편을 유발하였음. 그래서 임실군은 임실 시장을 비롯해 민원발생이 예상되는 10개소의 하수도 중계펌프장에서 ‘하수도슬러지 준설공사’를 실시한다고 16일 밝혔음. (뉴스1, 2017-1-16)

**[전남 영광]**

평소 지대가 낮고 유속이 느린 취약지 하수관로 5.3 km를 대상으로 우수기 이전에 하수관로 내 퇴적토를 준설공사를 하여 하수 역류, 악취 발생을 사전에 예방하기 위한 준설사업을 시행했음. 또 유해물질 무단투기로 악취 사고가 발생된 지역도 잔존 유해물질 제거를 위한 하수관로 준설을 실시하고, 준설 작업 중 악취발생을 최소화 하기

위한 탈취제 투입 작업도 진행할 계획임. (광주매일신문, 2017-01-18)

**[전남 영암]**

이 준설 사업은 동절기 여건상 결빙 등으로 해결하지 못한 민원접수사항과 일제조사를 벌여 필요성이 확인된 하수관, 또 이용객이 많은 지역 주변의 주요 하수관로를 중심으로 내 퇴적물 및 토사를 제거하여 배수 불량으로 인한 침수피해, 한파로 인한 오수관 내 고형화된 기름기 응고에 따른 하수도 막힘을 사전에 예방한 목적으로 시행됨. 영암군은 하수도 준설 사업을 매년 상·하반기에 걸쳐 시행하고 있으며 수시로 하수도 상태를 조사하여 자연재난 예방에 최선을 다하고 있음. (아시아경제, 2017-01-24)

**[경북 문경]**

문경시 하수도사업소는 관내 14개 대행업체 관계자와 건설현장 대리인을 대상으로 하수도 시설 설치기준 및 공사장 내 안전관리 교육을 실시. 또한, 시공회사 관계자로부터 공사추진과정 애로사항 질의·응답 시간을 가짐. (엘뉴스, 2017-02-14)

**Foreign environmental dredging news**

**New Survey System for HPA**

April 6, 2017,

By www.dredgingtoday.com

**Hamburg Port Authority (HPA) has taken delivery of the 3rd integrated dual head multibeam survey system from MacArtney.**

Conducting around 900 surveys per year in the port of Hamburg, HPA requires high-end products for their multi-sensor systems and survey vessels.

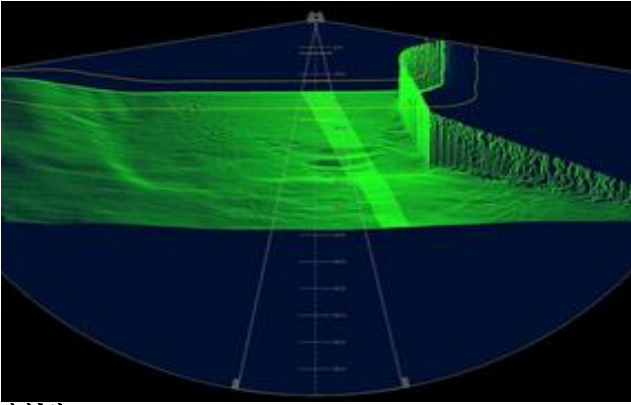
The vessel ‘Deepenschriewer IV’ is the smallest survey vessel of HPA and intended to carry out multibeam surveys for depth control and documenting in shallow water areas.

For this purpose, MBT, MacArtney Germany, has effected supply, installation, and setting-to-work of a dual head multibeam echo sounder system suitable for hydrographic survey applications.

The solution comprises the following products: high-resolution multibeam echo sounder Teledyne RESON SeaBat® T20-R, a Valeport SWiFT sound velocity profiler, and a Valeport UltraSV.

The units are intended for coastal, harbor, and inland hydrographic survey use. Featuring superior acoustic quality and high accuracy, this survey system enables easy and quick downloading and sharing of data relevant





사진출처) <http://www.dredgingtoday.com/wp-content/uploads/2017/04/new-survey-system-for-hpa.jpg>

in relation to hydrographic surveying. Quality testing to meet the most demanding standards ensures optimum performance, thus allowing for good swaths in very shallow water as well as comprehensive surveys in big areas in a short time, specially in shallow areas, and thorough testing during dredging operations.

### Federal, State and Local Partnership to Restore Beaches in Maryland

April 06, 2017,  
By [www.dredgingtoday.com](http://www.dredgingtoday.com)

### The Board of Public Works yesterday unanimously approved \$4.6 million in funding for regularly-scheduled beach and berm nourishment and repairs in Ocean City.

The Ocean City Beach Replenishment Project will be managed by the U.S. Army Corps of Engineers in close cooperation with the Maryland Department of Natural Resources, Worcester County and Town of Ocean City.

“Replacing and restoring the beaches and berms is essential to the economic health and future of Ocean City,” Maryland Natural Resources Secretary Mark Belton said.

Belton added that the partnership between federal, state and local agencies demonstrates the importance of this project to the Eastern Shore, and the millions of tourists and visitors who flock to the sandy beaches of Ocean City each and every year.

The repair project will include pumping approximately 371,000 cubic yards of sand onto the beach to replace and restore sand lost during the January 2016 winter storm (Jonas) and bringing the berm up to the minimum design template. Additionally, up to another 512,000 cubic yards of sand will be placed to replenish the beach and berm to bring the project up to full design template.

The sand for the project will be pumped from a borrow area located approximately 3 miles offshore of Ocean City in federal waters.

Work is expected to start after Labor Day and be completed in late winter 2017.



사진출처) <http://www.dredgingtoday.com/wp-content/uploads/2017/04/federal-state-and-local-partnership-to-restore-beaches-in-maryland.jpg>

### CEDA Publishes Its Annual Report 2016

March 24, 2017,  
By [www.dredgingtoday.com](http://www.dredgingtoday.com)

The Central Dredging Association (CEDA) has just released its [CEDA Annual Report 2016](#), detailing their work over the previous year and highlighting work related to the new initiatives.

“2016 was an interesting year, in many ways, and for CEDA it was an outstandingly positive one with a few ‘firsts’. We established the Dredging Management Commission, made a huge contribution to WODCON XXI, and ran a series of foundation and practitioner-level webinars,” said Polite Laboyrie, the CEDA President.

“We were invited to add specialist input to the revised Spanish Dredged Material Guidelines and raised our profile further in the Iberian region with our first Iberian Conference in Lisbon. Plus, we ended the year participating in the kick-off meeting of an EU-funded pilot project that will see an MGO dredger converted to LNG/ MGO dual fuel.”

CEDA is part of the World Organisation of Dredging Associations (WODA) and is responsible for Europe, Africa and the Middle East. CEDA’s two sister associations, WEDA (Western Dredging Association) and EADA (Eastern Dredging Association), serve the Americas, and Asia, Australia and the Pacific region respectively.



사진출처) CEDA



# 한국환경준설학회지 투고 규정

## 제 1 조 [원고의 정의]

학회지의 내용은 총설(Review), 논문(Original paper), 단보(Note), 기술자료(Technical note)로 구분한다.

1. 총설 : 관련 분야 전반에 걸쳐 독창적이고 창의적인 연구결과물
2. 논문 : 독창적인 연구결과물
3. 단보 : 단편적인 연구결과로서 학술적으로 가치있는 자료
4. 기술자료 : 관련 분야 기술자료로서 실용적이며, 독창적인 내용

## 제 2 조 [독창성]

학회지에 게재되는 원고는 연구윤리규정에 위반되지 아니한 것이어야 하며, 내용의 일부 또는 전부 중복 게재 등 위반이 확인될 경우 편집위원회의 검토를 거쳐 게재를 취소할 수 있다.

## 제 3 조 [투고자격]

학회지에 원고를 투고하는 저자들 중 적어도 1명은 본 학회 회원이어야 한다.

## 제 4 조 [저작권 소유]

학회지에 게재되는 모든 원고에 대한 저작권은 한국환경준설학회가 갖는다.

## 제 5 조 [원고 채택]

원고의 채택은 별도로 정한 심사규정에 의거 심사 후 채택한다. 채택된 후에는 저자를 추가 또는 삭제할 수 없다.

## 제 6 조 [원고 접수 및 채택일]

원고와 심사료가 본 학회 사무국에 도착된 날을 접수일로 하고, 심사가 완료된 날을 채택일로 한다. 원고 채택일 이후 게재예정 증명서를 발급할 수 있다.

## 제 7 조 [심사료 및 게재료]

학회지에 투고하려는 자는 소정의 심사료를 납부하여야 하며, 국문인 경우 60,000원, 영문인 경우 100,000원 긴급 심사의 경우 상기 금액의 3배로 한다. 심사료는 3인 이내의 심사위원에게 균등 지급한다. 단 게재료는 별도로 정한 규정에 따라 납부하여야 한다.

## 제 8 조 [원고료]

총설의 경우 전문가에게 의뢰할 수 있고, 이에 대한 소정의 원고료를 지불할 수 있다.

## 제 9 조 [원고 작성]

1. 원고는 제목, 소속기관, 저자(국문, 영문, 책임저자 표시), 요약 및 주제어(영문, 국문, 주제어는 5개 이하), 서론, 연구방법, 연구결과, 고찰, 결론, 사사(혹은 감사의 글) 및 참고문헌의 순으로 작성하며, 번호 매김은 1, 1.1, 1.1.1의 순으로 한다. 단, 기술자료의 경우 편집위원회에서 인정하는 범위 이내에서 자유로운 형식으로 작성할 수 있다.
2. 인용문헌 표기는 다음과 같이 한다.
  - 논문: 저자명, 논문제목, 권, 호, 페이지, 연도 순으로 한다.
  - 단행본: 저자명, 제목, 권수, 출판사명, 페이지, 연도
  - 학술발표: 저자명, 제목, 행사명(장소, 국가 표시), 페이지(CD로 편집된 경우 Proceeding No.), 연도
  - 기타: 인터넷 자료를 인용할 경우 제목, 사이트명, URL, 게시연도 순으로 한다. 단, 저자는 모든 저자명을 표기한다.
3. 그림(Figure)과 표(Table)는 영문으로 작성하는 것을 원칙으로 하며, 인쇄 시 해상도가 좋아야 한다. 다만 필요 시 국문으로 작성할 수 있다.
4. 단위 표기는 SI단위 사용을 원칙으로 한다.
5. 약어는 최초 사용시 원문을 그대로 적고, 괄호안에 약어를 표시하며, 그 이후에는 약어를 사용한다.

## 제 10 조 [원고 교정]

교정은 초교에 한하여 저자가 행함을 원칙으로 하며 인쇄의 오류, 오타자 수정 이외의 자구수정, 내용삽입 혹은 변경은 허용하지 아니한다.

## 제 11 조 [학회지 발간]

학회지는 연 1회 이상 발간을 원칙으로 하며, 편집위원회에서 필요하다고 판단할 경우, 연간 발행 횟수 및 시기를 조정할 수 있다.

## 제 12 조 [기타]

기타 본 규정에 명시되지 아니한 사항은 편집위원회에 위임한다.

2010년 8월 26일 제정  
(사)한국환경준설학회 편집위원회

# 한국환경준설학회지 원고 편집 예시

## 1] 원고작성 언어 및 분량

1. 원고작성은 국문으로 하며 반드시 국문초록(요약문)과 영문초록(ABSTRACT) 및 다섯 단어 이내의 주제어(Key Word)가 국문과 영문초록 하단에 각각 첨부되어야 한다. 국문원고는 한글 또는 워드 사용을 권장하되 인명, 지명, 잡지명, 학술용어, 물질명과 같이 어의가 혼동되기 쉽거나 한글 표기가 어려운 단어는 한자 또는 영문으로 표기할 수 있다.
2. 원고는 반드시 워드프로세서를 이용하여, A4(210×297mm) 용지에 작성한다. 투고원고는 특별히 매수를 규정하지 않으나, 가능한 한 인쇄면 8면 이내(신명조 11, 줄간격 200%로 작성한 2면은 대략 본문 인쇄면 1면에 해당, 표 및 그림 제외)로 제한하여야 한다.
3. 단보는 그림 및 표를 포함하여 학회지 인쇄면 4면 이내의 분량으로 제한한다. 단, 기술자료의 경우 편집위원회에서 인정하는 범위 이내에서 자유롭게 작성할 수 있다.

## 2] 원고의 형식

1. 원고의 표지(제 1면)에는 제목, 연구자 이름, 소속을 본문에 사용된 언어에 상관없이 국문과 영문으로 표기하여야 한다. 연구자의 소속과 주소는 해당 연구자의 이름에 \*표를 하고 이름의 우측 상단에 이를 표기한다. 연구자들의 소속이 두 명 이상으로 다를 경우, 해당연구자 이름의 우측상단에 숫자로 이를 표기한다. 저자 중 제 1 저자를 주저자(first author)로 하며, 교신저자(corresponding author)는 이름의 우측 상단에 †로 표기한다.
2. 원고의 형식은 표지, 영문초록(ABSTRACT), 국문초록(요약문), 서론, 실험방법(또는 재료 및 방법), 결과, 고찰(혹은 결과 및 고찰), 결론, 사사, 기호설명, 참고문헌, 표, 그림의 순서로 함을 원칙으로 한다.
3. 국.영문초록은 원고의 목적과 주요성과를 구체적으로 기술하여야 하며, 그 분량은 가능한 한 국.영문 모두 200 단어 이내로 제한한다. 단, 기술자료는 국.영문초록을 반드시 필요로 하지는 않는다.

4. 본문(서론에서 결론까지)의 구분은 아래에 예시한 바와 같이 아라비아 숫자로 표현하며 내용이 간단.명료하게 구분될 수 있도록 하여야 한다.  
(예) 1, 2, 3, ....., 1.1, 1.2, ....., 1.1.1, 1.1.2, ....., (1), (2), (3), .....
5. 원고 본문 중의 표현은 가능한 한 학술용어 사용을 권장하며, 고유명사는 원어로, 수량은 아라비아 숫자를 사용하여야 한다. 단위는 SI 단위계 사용을 원칙적으로 권장하나 mg/L 와 같이 많이 사용되는 농도단위는 C.G.S. 단위의 기호를 사용할 수도 있다.

## 3] 표와 그림의 표기방법

1. 표(Table)와 그림(Figure)의 제목과 설명은 영문으로 하되 본문을 참고하지 않아도 그 내용을 알 수 있어야 하며 아라비아 숫자로 일련번호를 붙여야 한다(예:Table 1, Table 2, Fig. 1, Fig. 2). 모든 표와 그림은 본문과는 별도로 백지에 명료하게 작성하여야 하며 표와 그림이 삽입될 위치는 원고의 본문 중에 명시하여야 한다.
2. 표(Table)의 경우 제목 첫글자만 대문자로 하며 나머지는 일반문장과 같은 방식으로 표현하며, 제목 끝에 마침표를 붙이지 아니한다.  
(예) Table 1. Effect of temperature on the BOD removal efficiency
3. 그림(Figure)의 경우 제목의 첫글자만 대문자로 하고 나머지는 일반 문장과 같은 방식으로 표현하며 마침표를 붙인다.  
(예) Fig.1.Schematic diagram of experimental set-up used for the biological wastewater treatment.

## 4] 참고문헌 표기방법

1. 참고문헌은 본문 중에 번호로 표기하고(예: ...의 연구결과(1)와 일치하는...), 인용순서에 따라 본문 끝에 배열하며 일반적인 배열순서는 아래 예시와 같이 번호, 저자명, 논문제목, 잡지명, 서명, 판수, 출판사명, 발행지, 권(호), 면(출판년도)의 순서로 기술함을 원칙으로 한다.
2. 학술지 논문(Journal Articles)일 경우 저자, “논문제목,” 학술잡지명(영문일 경우 밑줄을 긋거나 이탤릭체로 표기), 권수(권수는 굵은 글자로 숫자만 표기하며 호수는

괄호 안에 가는 글자로 숫자만 표기),  
면수(시작과 끝의 숫자만 표기),  
년도(괄호 안에 표기)의 순으로  
기술한다.

(예) 1. 홍길동, 김이박, “활성슬러지 공법의  
특징에 관한 연구,” 대한환경공학회지, 16(7),  
143~148(1994).

2. Johnson, H. F., Field, R., and Tassler, M. E.,  
“Gas absorption and aerosol collection in a venturi  
atomizer,” Atmos Environ., 46(8), 72~78(1988).

3. 학술회의 Proceeding일 경우 저자,  
“논문제목,” 학술회의명(영문일 경우  
밑줄을 긋거나 이탤릭체로 표기),  
발행처, 도시명, 면수(소문자 pp를 붙임),  
년도(괄호 안에)의 순서로 기술한다.

(예) 3. 이상은, “한국의 상수고도  
처리기술의 방향,” 상수고도처리에 관한

제2차 한·일공동 환경심포지움 논문집,  
영남대학교 부설 환경문제연구소, 대구,  
pp. 74~96 (1994).

4. Daughtrey, H. E., Williams, D. F., and  
Murphy, N. T., “Comparison of methods for  
monitoring dry deposition pollutants,” in  
Proceedings of the 1988 U. S. EPA and AWMA  
International Symposium on Measurement of Toxic  
and Related Air Pollutants, VIP-10, U. S. EPA,  
Pittsburgh, pp. 170~175(1998).

5. 정기간행물의 약어는 영문의 경우  
Chemical Abstract에 준하며 국문 또는  
일어인 경우에는 원명을 그대로 쓴다.

2010년 8월 26일 제정  
(사)한국환경준설학회 편집위원회

# 한국환경준설학회지 윤리규정

## 제 1 장 연구자의 책임과 의무

### 제 1 조 학문의 자유와 사회적 책임

연구자는 연구를 수행함에 있어서 학문의 자유에 기초하여 창의적 연구를 수행할 권리를 가짐과 동시에 우리 사회에 영향을 미칠 수 있음을 인식한다.

### 제 2 조 연구비 지원을 받을 때의 책임

① 연구자는 연구를 위해 재정지원을 일부 또는 전부 지원받았을 때에는 이를 적절하게 밝혀야 하고, 재원을 투명하게 관리하여야 한다.

② 연구비를 지원받을 경우, 학문의 진실성과 자유를 제한받지 않도록 해야 한다.

### 제 3 조 연구경력 표현의 책임

① 연구자의 연구경력을 과장, 왜곡, 허위 기재를 하지 않아야 한다.

② 연구비 지원 등 개인의 이익을 취하기 위해, 자신에게 불리한 연구경력을 고의로 축소하거나 누락해서는 않된다.

## 제 2 장 연구발표에 있어서의 진실성

### 제 4 조 원칙

① 연구자는 연구결과를 발표함에 있어 다음 각 호의 사항들을 준수함으로써 학문적 진실성을 최대한 유지하여야 한다.

② 자신의 연구결과를 보고, 발표할 때 정확하고 진실하게 서술하여야 한다.

③ 연구결과가 발표된 이후 본 연구윤리침 위반 사항을 발견한 경우에는 지체 없이 연구결과와 전부를 철회하여야 한다.

### 제 5 조 타인의 연구성과 사용

① 연구자는 연구문헌을 작성함에 있어 원칙적으로 자신의 연구 아이디어 또는 결과에 기초하여 자신의 문장으로 표현하여야 한다.

② 연구자는 연구문헌을 작성함에 있어 이미 발표된 타인의 연구성과를 그대로 또는 다른 형태로 변형하여 자신의 연구성과인 것처럼 사용하여서는 않된다.

③ 연구자는 연구문헌을 작성함에 있어서 자신의 독자성을 해하지 않는 범위 내에서 타인의 연구결과를 부분적으로 인용하여 사용할 수 있다. 다만 이 경우에는 정확한 출처표시 또는

인용표시를 하여야 한다. (연구문헌 작성 시 타인의 연구결과를 연속된 2 개 이상의 문장을 인용표시 없이 그대로 사용하는 경우 본 윤리규정에 위배된다.)

### 제 6 조 자신의 연구성과 사용

연구자는 연구문헌을 작성함에 있어 당해 연구의 독자성을 해하지 않는 범위 내에서 이미 게재, 출간된 자신의 연구 결과물을 부분적으로 사용할 수 있다. 다만, 이 경우 연구결과는 정확한 출처 표시와 함께 사용하여야 하며, 당해 연구에서 처음 발표하는 것처럼 제시해서는 않된다. (한 문장 이상 또는 5 개 이상의 단어를 연속적으로 사용하는 경우 정확한 출처와 인용 표시를 하여야 한다.)

### 제 7 조 저자 표시

연구결과를 발표할 때 저자 또는 발표자의 표시 순서는 참여한 연구자들의 합의에 따라 결정하되, 연구의 기여도 및 해당 전공분야의 특성과 합리적 의사결정에 따라 공정하게 정해져야 한다.

### 제 8 조 연구부정행위

고의 또는 중대한 과실로 연구 수행 및  
① 연구문헌의 작성, 발표 등 전 과정에서 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 행위를 한 연구자는 연구부정행위에 대한 책임을 진다.

연구결과 또는 자료를 허위로 만들거나 보고하는 행위

② 연구결과를 임의로 변경, 추가, 누락 함으로서 연구자료를 조작하는 행위

타인의 연구성과 등을 마치 자신의 것처럼 사용하는 행위

### 제 9 조 연구부정행위의 판정

① 제 8 조의 규정에 의한 연구부정행위의 해당 여부 및 위반의 정도는 전공 분야의 특성과 관련 학계의 의견을 고려하여 본 한국환경준설학회 편집위원회에서 판정한다.

② 연구부정행위로 판정된 경우, 본 한국환경준설학회 학회지에 게재된 연구결과 전부 또는 일부를 취소할 수 있다.

2013년 5월 31일 제정  
(사)한국환경준설학회 편집위원회



## (사)한국환경준설학회 회원 초빙

안녕하십니까?

아시는 바와 같이 저수지, 하천, 항만 수역의 환경관리는 수저 퇴적물의 준설을 중심으로 이루어집니다. 이들 수역 모두 도시 경제활동의 중심이며 주민의 보건이나 민감한 생태계와 접하고 있습니다. 즉 바닥 준설로 농업용 저수용량을 복구할 수 있고, 바닥을 준설하여 도심에 위치한 호소의 경관을 복원할 수 있고, 오염된 수저 퇴적물을 준설하여 해역 환경 상태를 개선할 수 있으나, 준설 작업에 따른 환경 영향과 발생한 준설물질의 처리·처분에는 준설 작업 자체보다 더 많은 이해당사자가 연계되어있기 때문에 이들의 요구를 또한 만족하여야 합니다. 그러므로 준설공사는 주민의 건강과 생태계 보호를 우선으로 삼는 환경준설공사(environmental dredging project)로 설계하고 시공해야 합니다.

환경준설공사를 성공적으로 수행하기 위해서는 유역관리(watershed management), 수리(hydrodynamics), 퇴적(sediment dynamics), 물과 퇴적물의 상호작용(sediment-water interaction), 오염물질 거동(transport and fate of contaminant in aquatic environment), 준설공법(dredging methods), 준설물질의 처리·처분(treatment and disposal of dredged material), 사업 방안 별 위험평가와 관리(risk assessment and management), 환경회계, 환경 법, 행정조정 등 여러 학문 분야의 지식이 필요합니다.

(사)한국환경준설학회는 다양한 목적을 위해 저수지, 호소, 하천, 항만 수역의 수저퇴적물을 준설하는 공사에 관련된 모든 측면 (과학, 기술, 법, 회계, 행정 등 모두)에 관한 독립적인 지식과 정보를 공유하는 포럼입니다. 우리 학회는 불편부당한 준설관련 지식과 정보를 누구에게나 제공하고자 합니다. 우리 학회의 취지에 동의하시고 회원이 되시고자 하시는 개인이나 단체는 아래 입회원서를 작성하시어 학회 사무국 e-mail로 신청하여 주시면 감사하겠습니다.

본 학회 홈페이지 (<http://www.k-environmentaldredging.or.kr>)에 오셔서 회원가입을 하시면 학회 사무국에서 일주일 내로 승인을 해 드립니다. 일단 무료 웹 회원이 되시면 홈페이지는 이용하실 수 있습니다. 그리고 학회비를 내시면 유료회원으로 승격되어 학회지 등 학회 자료를 이용하실 수 있습니다. 회원 관리 차원에서 별첨의 “입회원서”를 작성하여 주시면 학회 목적으로 유용하게 사용을 하겠습니다. 단 학회 목적 이외에는 사용하지 않는 것을 약속 드립니다. 감사합니다.

### (사)한국환경준설학회 편집위원회

총무이사 최진영(jychoi@kiost.ac.kr), 간사 임지영(jeeyoung7359@kiost.ac.kr) 앞  
15627 경기도 안산시 상록구 해안로 787 한국해양과학기술원 제4연구동 4102호  
e-mail: keds2011@naver.com

2017. 3. 31  
회장 양동범 배상

## (사)한국환경준설학회 입회원서

개인회원	성명	(국문) (한자) (영문)	필수작성
	생년월일		
	전화번호		
	이-메일		
	소속기관명		
	소속기관주소	(우편번호) (주소)	선택작성
	우편물 수취 주소	(우편번호) (주소)	
	최종학력		
	연구 핵심어	1. 2. 3.	
	회원 지위	( ) 학생회원, ( ) 정회원, ( ) 이사 - 희망 하시는 곳에 기호 “O” 삽입. 단, 이사는 실무경력 5년 이상인 자에 한함	
	연회비	학생 회원(박사과정): 1 만원, 정회원: 5 만원, 이사: 10만원	
	신청일자 및 서명	신청일자: 성 명: 서 명:	
단체회원	상호		필수작성
	사업자등록번호		
	대표자 성명	(국문) (한자) (영문)	
	주소	(우편번호) (주소)	
	사업영역		
	담당자 성명/직위		
	담당자 연락처	(전화) (이-메일)	
	연회비	단체회원: 20만원	
	신청일자 및 서명	신청일자: 성 명: 서 명:	

※ 회원 가입 신청 시 참고사항

- 1] 연구 핵심어 작성 예: 준설장비개발, 준설물질 생물학적 처리 등, 수저퇴적물화학, 수저퇴적물생물학, 법 등 (자유로이 3개 까지)
- 2] 납부 계좌: 농협중앙회 301-8826-7199-21, 한국환경준설학회
- 3] 전화: 031-400-6152,6185, 팩스: 031-408-4493, 이메일: keds2011@naver.com
- 4] 학회 홈페이지 이용 안내  
학회 홈페이지 (<http://www.k-environmentaldredging.or.kr>) 이용은 별도의 웹 회원 가입이 필요함  
학회 회원(연회비 납부)이 웹 회원으로 가입 후, 학회 편집위원회에 이용권한을 요청  
하시면 승인(회원 정보, 학술대회 논문집 및 학회지 등 모든 정보)하여 드립니다.

# This company provide total solutions for the contaminated sediment treatment



## ● 주요 사업분야



(주)신 대 양 [www.sindaeyang.co.kr](http://www.sindaeyang.co.kr)

부산광역시 사하구 구평로 16번길 67(구평동)

TEL : 051-325-7633 FAX : 051-325-7579

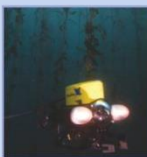
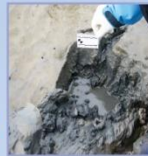
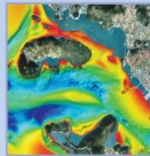


해안·해양·수환경 전문가 그룹이  
최적의 기술을 제공합니다.

### 주요 사업 분야

- 해양 조사
- 수질 및 저질 모니터링
- 측량 및 탐사
- 해양/기상 환경 원격 모니터링
- 수치모델을 이용한 환경 변화 예측
- 연안침식 및 연안재해

### 지형조사·퇴적 및 수질분석



[www.GeosR.com](http://www.GeosR.com)

### 다목적 소형 ROV - VideoRay



**(주)지오시스템리서치**  
GeoSystem Research Corporation

경기도 군포시 금정동 엘에스로 172 한림휴먼타워 306호  
Tel : 070-7019-0600 Fax: 031-479-7410



생명이 흐르는 강 모두가 바라는 것입니다.

토양자원은 지난 15년간 수생태 복원을 위한 기술 개발을 해왔습니다.

☒ Soilwashing Plant  
세척선별, 입자분리



☒ 사업 영역

- 오염 준설토 및 오염토양 처리
- 토양개량 및 개량제 판매
- 이수 슬러지 재활용
- 관련 플랜트 제작, 판매



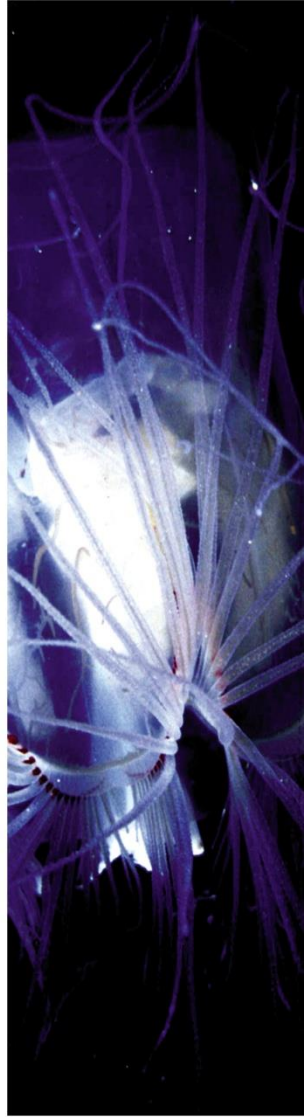
☒ 토양개량 플랜트  
토질개량, 오염저감





Marine  
Eco-Technology Institute

www.marine-eco.co.kr



“미래를 여는 해양조사 그 선두에 MEI가 있습니다.”

전문연구분야

- 전문지식이 요구되는 해양생태계의 정밀 조사(적정 채집 및 조사 방법, 전문 컨설팅 포함)
- 연안생태계의 복원 방안 수립
- 해양생태계 복원을 위한 연구 기술 개발(해중림 건설 등)
- 전문자료를 기초로 한 생태계 모니터링 시스템 구축 기술 개발



대표 : 손 민 호  
608-830, 부산광역시 남구 용당동 485-1번지  
TEL.(051)611-6200, 0610 FAX.(051)611-0588



1,100마력 커터헤드 준설선



425마력 환경 준설선



수처리 시스템



이동식 준설물질 탈수기



환경준설 로봇



포지셔닝 시스템



부스터 펌프



유압펌프



환경버킷



EcoDredge 한국대리점 / (주)프런티어 오프쇼어 서비스



경상북도 포항시 남구 대송면 철강로 220-12, Tel: 054-275-1917, Fax: 054-281-1297



# 자연을 치유합니다

에이치플러스에코(주)는  
토양·지하수정화/토양환경평가/환경바이오·화학소재/산업폐수처리 등  
고객만족 서비스를 제공하는 환경전문기업입니다.



**H-Plus Eco Ltd.**  
*Brings You the Eco World*

에이치플러스에코(주)  
[www.hpluseco.co.kr](http://www.hpluseco.co.kr)  
TEL : 02) 2037-2986 FAX : 02) 2037-2979

본 사 : 서울특별시 송파구 석촌호수로 222 제이타워  
THE SOIL R&D CENTER : 경기도 이천시 설성면 수산리 436-7  
예산반입정화장 : 충남 예산군 대술면 화산리 508  
여 수 공 장 : 전남 여수시 화양면 화동리 2136

## 2017 년도 (사)한국환경준설학회 임원진

**고 문:** 류 재 근 ((사)한국환경학술단체연합회 회장),  
홍 기 훈 (한국해양과학기술원장)

**회 장:** 양 동 범

**부 회 장:** 공 준(재무분과위원장), 김 경 련, 김 영 석, 김 정 한,  
김 홍 균(제도분과위원장), 김 홍 선, 박 재 우, 서 승 남, 신 원 식,  
이 재 관, 이 호 식, 정 창 수

**감 사:** 김 석 현, 손 민 호

**이 사:** 강 주 현, 김 건 하, 김 문 일, 김 상 훈, 김 영 일, 김 이 형, 김 진 오,  
문 현 생, 박 명 균, 박 찬 혁, 성 상 규, 송 기 훈(학술분과위원장), 이 승 윤,  
이 요 상, 이 유 역, 이 인 오, 이 재 성, 장 영 호(사업분과위원장), 최 진 영,  
홍 대 벽

**단체회원:** (주)신대양, (주)에이치플러스에코, (주)이구건설, (주)지오시스템리서치,  
(주)지오마린이엔씨, (주)코리아짚베지, (주)토양자원, 해양생태기술연구소, (주)FOS,  
(주)H Plus Eco, (사)한국환경학술단체연합회, (사)한국환경영향평가협회,  
워터저널  
(가나다 순)

**학회지 편집위원회** (위원장: 김 경 련)

## 한국환경준설학회지

Journal of Korean Environmental Dredging Society 제 4 권 1 호

2017 년 3 월 31 일 인쇄 2017 년 3 월 31 일 발행

발행인 양 동 범

편집인 김 경 련

발행처 (사)한국환경준설학회

15627 경기도 안산시 상록구 해안로 787 한국해양과학기술원 제 4 연구동  
4102 호

E-mail: keds2011@naver.com

인 쇄 범신사 (02-503-8737) 경기도 과천시 별양동 13 번지