

광양, 목포, 신안 주변해역 해저퇴적물의 오염도 평가에 관한 연구

김도희*† · 엄현호**

*, ** 목포해양대학교 해양공과대학 환경생명공학과

Estimation of the Sediment Pollution in Coast of Gwangyang, Mokpo and Shinan, Korea

Do-Hee Kim*† · Hyeon-Ho Um**

*, ** Department of Environmental & Biotechnology, Marine Engineering System, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

요 약 : 2011년 7월부터 2012년 2월에 걸쳐 광양만, 목포내만, 신안 비금도 주변해역의 저층 퇴적물의 COD와 AVS를 조사하여 해저 퇴적물의 오염도를 평가하였다. 아울러 퇴적물 중의 Cu, Cd, Pb, Zn의 함량을 조사하여 국내기준치와 외국의 기준치와 비교 평가하였고, 농집지수를 구하여 중금속의 축적과 인위적인 영향을 추정하였다. 그 결과, COD와 AVS를 이용한 해역의 오염도는 신안 비금해역과 광양만은 1등급, 목포내만은 III등급으로 평가되었다. 중금속의 조사 결과에서는 목포내만과 광양만에서는 중간오염 상태를 보였고, 신안 비금해역은 오염되지 않은 상태를 보였다. Igeo 결과에서 2 이상으로 나타난 곳은 목포내만과 광양만에서 Cu와 Cd이 오염된 상태를 보였다. 이와 같은 결과로부터 인위적인 오염원이 없는 해역의 경우에는 일반항목으로 퇴적물의 오염도를 평가할 수 있겠지만 산업시설이 밀집된 인위적인 영향이 큰 해역의 경우에는 퇴적물의 일반항목의 중금속을 이용한 해저 퇴적물의 오염도의 평가가 더욱 정확할 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 광양, 목포, 신안, 중금속, 퇴적물오염도

Abstract : We estimated sediment pollution by the analysis of COD and AVS. We also estimated the contents of Cu, Cd, Pb, Zn in sediment of Gwangyang bay, Mokpo inner bay and Shinan Bigum coastal area from 2011 July to 2012 February. In these results of sediment COD and AVS show III level pollution in Mokpo inner bay, however Gwangyang and Shinan Bigum coast show I level pollution. The results of Igeo show over 2 on the contents of Cu and Cd in Gwangyang bay and Mokpo inner bay. It also know that Igeo can more and detail estimate sediment pollution in industrial coastal area. These results show that it is suitable to estimated sediment pollution by COD and AVS with trace metal in industrial and initial polluted coastal area rather than analysis of COD and AVS only in coastal area.

Key Words : Gwangyang, Mokpo, Shinan, Trace metal, Sediment pollution

1. 서론

해역의 오염도를 나타내는 해역환경기준치는 해수의 pH, 총대장균, 용매추출유분 등을 조사하여 평가하는 생활환경 기준과 투명도, DO, Chlorophyll-a, DIN, DIP를 조사해서 항목별 지수 합으로 평가하는 생태기반해수수질기준 그리고 6가 크롬을 포함한 20개 유해물질 항목을 조사해서 평가하는 건강보호기준이 고시되어 있다(국토해양부 고시 제 2011-344호). 하지만 해역의 수질상태는 항상 시·공간적으로 변동하

고 있기 때문에 순간순간의 해역의 오염상태를 평가할 수는 있지만, 오랜 기간 동안 축적되어온 해역의 오염도를 평가하기에는 한계점이 있다.

해저의 퇴적물은 상층의 해수와 끊임없이 상호영향을 미치고 있으며, 해저 퇴적물의 오염상태는 장기간의 해역의 오염도를 알 수 있는 좋은 지표가 될 수 있다. 지금까지 국내의 해저 퇴적물의 오염도 평가는 보통 IL, COD, AVS, ORP, 영양염 등을 조사하여 평가되고 있다. 그 외 해저 퇴적물의 중금속 함량을 이용한 부화지수(Enrichment factor), 농집지수(Index of geoaccumulation : Igeo)등을 이용한 해저 퇴적물의 오염도를 평가한다든지 EPA와 NOAA(ERL, ERM) 등과 같

† Corresponding Author : doking@mmu.ac.kr, 061-240-7308

은 외국의 퇴적물 오염 기준치와 비교 평가하고 있다. 최근 국토해양부는 해저 퇴적물의 오염도 평가의 중요성을 인식하여 주의기준치(TEL)와 관리기준치(PEL)로 구분하여 고시하였다(국토해양부 고시 제 2011-972호).

본 연구에서는 해저 퇴적물의 COD와 AVS를 조사하여 퇴적물의 오염도를 등급화 하였고, 국내 및 외국의 기준치와 비교 평가하였으며, 농집지수(Muller, 1979)를 구하여 중금속의 축적과 인위적인 오염여부를 평가하고자 하였다. 아울러 인위적으로 오염된 해역과 청정한 해역에서의 퇴적물의 오염도 평가 방법의 적용성에 대해서 검토하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 조사해역 및 방법

2011년 7월부터 2012년 2월까지 항만과 산업시설, 생활오수가 유입되고 있는 목포내만과 광양만을 설정하였고, 오염원이 없는 청정한 해역으로서 신안비금 해역을 연구조사 해역으로 선정하였다. 현장의 해저 퇴적물은 코아채니기로 채취하여 표층 5 cm를 잘라 플라스틱 통에 취하여 현장에서 검지관법으로 산화발성황화물(AVS)을 측정하였고 나머지는 냉장 보관하여 실험실로 옮긴 후 퇴적물 COD를 해양환경공정시험기준(KMLT&MA, 2010)에 따라 분석하였다.

퇴적물 중의 유기물 함량과 중금속의 함량은 퇴적물의 입자와 깊은 상관관계를 갖는다. 따라서 중금속 분석에 앞서 퇴적물의 입도의 영향을 줄이기 위해 63 μm 이하로 체 분리된 퇴적물을 대상으로 하여 질산 황산 습식분해의 전처리를 거친 후 AAs-Flame법으로 분석하였다(KMLT&MA, 2010).

퇴적물의 중금속 분석의 신뢰도를 검증하기 위해 표준시료 MAG-1(USGS)를 시료와 동일한 방법으로 7회 분석하였다. 각 중금속의 회수율은 Cu : 97%, Cd : 86%, Pb : 90%, Zn : 93%였고, 퇴적물의 중금속의 검출한계는 Cu : 0.004 mg/kg,



Fig. 1. Sampling site, Mokpo inner Bay.



Fig. 2. Sampling site, Gwangyang Bay.

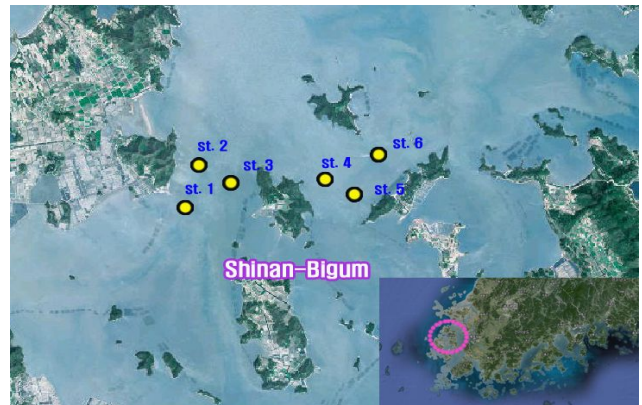


Fig. 3. Sampling site, Shinan Bigum.

Cd : 0.001 mg/kg, Pb : 0.010 mg/kg, Zn : 0.001 mg/kg였다.

조사 지점은 목포내만에서는 2011년 10월 20일 11개 정점 (Fig. 1), 공단과 산업시설이 밀집된 광양만 해역은 2011년 9월 9일 묘도 내측 주변 9개 정점(Fig. 2) 그리고 산업시설이 없어 인위적인 오염원이 거의 없는 전남 신안군 비금 해역에서는 2011년 11월 25일 6개의 정점에서 조사하였다(Fig. 3). 최종 결과 값은 정점별 3회 분석 후 평균치로 표기하였다.

2.2 퇴적물의 오염도 평가

현재 해역의 수질환경 기준치는 수질농도에 따라 점수화해서 그 오염도를 5등급으로 구분하고 있다. 해저 퇴적물의 오염도의 평가는 보통 퇴적물 COD, AVS, IL, ORP, 퇴적물의 영양염 농도 등이 이용되고 있다. 현재 국립수산과학원과 한국환경정책평가연구원은 해저 퇴적물의 COD와 AVS를 분석하여 그 농도 범위를 7단계로 나누어 점수화해서 해저 퇴적물의 오염도를 5등급으로 평가하고 있는 것(Table 1 and Table 2)을 참고하여 본 연구에서도 퇴적물의 COD와 AVS를 분석하여 해저 퇴적물의 오염도를 5등급으로 평가하였다.

광양, 목포, 신안 주변해역 해저퇴적물의 오염도 평가에 관한 연구

한편 최근에 국토해양부에 의해서 고시된 해역의 퇴적물 중금속 농도 기준치(Table 3)와 미국 EPA의 기준치와도 비교 분석하였다. 아울러 농집지수(Index of geoaccumulation; Igeo)를 구하여 중금속의 농축정도와 인위적인 오염의 영향을 판정하였다(Gang, 2010). 농집지수는 식(1)에 따라 아래와 같이 구하였다(Muller, 1979).

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

여기서, Igeo : 농집지수

C_n : n 지점에서의 중금속 함량

B_n : 금속원소의 배경 값(background value)

여기서 중금속 원소의 배경 값은 지각물질의 평균농도 (Martine and Whitefield, 1983; Rubio et al., 2000; Zhang et al., 2007; Zhang et al., 2009) 또는 조사해역에서 오염원의 영향이 가장 작은 해역의 농도가 사용된다. 본 연구에서는 조사 해역 중 오염원의 영향이 없는 것으로 추정되는 지점의 농도 값을 이용하였다. 식(1)에 의해 구해진 Igeo값은 Table 4과 같이 해저 퇴적물의 오염도를 7등급으로 구분하였다 (Muller, 1979). 여기서 Igeo값이 1 이상은 오염된 해역이고 5 이상은 아주 심하게 오염된 상태를 의미한다.

Table 1. Levels of sediment pollution using sediment COD and AVS

COD (mg/g, dry)	Con.	<5	5 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	20 ~ 25	25 ~ 30	>30
	Score	0	8.3	16.7	25.0	33.3	41.7	50.0
AVS (mg/g, dry)	Con.	<0.05	0.05 ~ 0.10	0.10 ~ 0.15	0.15 ~ 0.20	0.20 ~ 0.25	0.25 ~ 0.30	>0.30
	Score	0	8.3	16.7	25.0	33.3	41.7	50.0

Table 2. Levels of sediment pollution base on the total score of sediment pollution

Level	Score	Sediment condition
I	0~20	Low pollution
II	20~40	
III	40~60	
IV	60~80	
V	90~100	High pollution

Table 3. Criteria of sediment pollution by Korea Ministry of Land, Transport & Maritime Affairs (Unit : mg/kg)

Criteria	Cd	Cu	Pb	Zn
TEL	14.5	50.5	44.0	179
PEL	75.5	126	119	421

* TEL : Threshold Effects Level, PEL : Probable Effects Level

Table 4. Levels of sediment pollution by the Igeo Index (Muller, 1979)

Igeo	Igeo-class	Designation of sediment quality
>5	6	Very strongly polluted
4~5	5	Strongly / very strong polluted
3~4	4	Strongly polluted
2~3	3	Moderately / strongly polluted
1~2	2	Moderately polluted
0~1	1	Practically unpolluted / Moderately polluted
0	0	Practically unpolluted

3. 결과 및 고찰

3.1 퇴적물 일반항목 평가 결과

퇴적물 COD는 신안비금 해역에서는 평균 4.35 mg/g, 광양만에서는 평균 4.95 mg/g으로 두 해역 모두 오염기준치인 5.0 mg/g 이하였으나 목포내만은 오염기준치를 약간 상회하는 6.10 mg/g이었다. AVS는 신안비금 해역에서는 평균 0.017 mg/g, 광양만에서는 평균 0.060 mg/g으로 외국의 해역 기준치인 0.200 mg/g 이하였으나 앞서의 퇴적물 COD와 같이 목포내만에서는 1.04 mg/g으로 기준치를 초과하였다(Table 5).

현재 국립수산과학원과 한국환경정책평가연구원에서 해저 퇴적물의 COD와 AVS를 분석하여 점수화해서 오염도를 등급화 하고 있는 것에 근거하여 본 연구에서도 해저 퇴적물 내의 유기물함량을 시사하는 퇴적물의 COD와 해저 퇴적물 내의 황취발성 유기화합물의 함량을 시사하는 AVS를 조사하여 퇴적물 오염도를 등급화 한 결과, 신안비금 해역과 광양만은 I등급, 목포내만이 III등급으로 평가되었다. 해역별로 목포내만이 높게 나타난 이유는 조사해역의 폐쇄적인 지형적 특성 때문으로 판단되었다. 이와 같은 결과로 볼 때, COD와 AVS를 이용한 평가에서는 퇴적물 중의 유기물량과 퇴적물의 저층산소소비량에 따른 퇴적물의 오염상태를 알

수 있겠으나 COD와 AVS의 퇴적물의 강열감량(IL)이나 산화 환원상태(ORP), 퇴적물내의 영양염 농도와 중금속과 같은 난분해성 오염물질의 함량과 같은 항목을 추가하여 등급화 하는 것이 더욱 정확한 평가가 될 수 있을 것으로 생각되었다.

Table 5. Results of sediment pollution using COD and AVS

Site	COD		AVS		Total Score	Level
	mg/g	Score	mg/g	Score		
SB	4.350	0.0	0.017	0.0	8.3	I
GB	4.952	0.0	0.060	8.3	8.3	I
MB	6.104	8.3	1.044	50	58.3	III

SB : Shinan Bigum, GB : Gwangyang Bay,
MB : Mokpo inner Bay

3.2 중금속 함량을 이용한 평가 결과

본 연구에서 조사된 퇴적물의 중금속 함량 결과를 최근에 고시된 해저 퇴적물 해양환경기준의 주의기준치(Threshold Effects Level; TEL)와 관리기준치(Probable Effects Level; PEL)와 비교한 결과, 조사된 중금속 항목 모두가 해양환경에 부정적인 영향이 거의 없을 것으로 예측되는 TEL이하였다 (Table 6). Fig. 4~Fig. 7은 미국 환경청(EPA)의 해저 퇴적물의 오염 기준치와 비교한 Cu, Cd, Pb, Zn의 함량 결과를 나타낸 것으로 Cd과 Pb는 모두 EPA에서 제시하고 있는 오염 기준치 이하였다.

해역별로는 목포내만과 광양만과 유사한 농도를 보였고, 신안비금 해역은 낮은 농도를 보였다. 반면에 Cu의 경우 해역별로는 목포내만이 가장 높았고, 광양만, 신안비금 해역 순으로 나타났다. 목포내만의 2개 정점에서 Cu의 함량이 EPA 기준치를 초과하였으나 그 외 정점에서는 모두 EPA 기준치 이하였다. Zn의 경우 목포내만과 광양만이 EPA 기준치를 초과하였다. 해역별로는 앞서의 Cd과 Pb와 같이 목포내만과 광양만은 유사한 농도를 보였고 신안비금 해역은 상대적으로 낮은 농도를 보였다.

한편, 조사된 각 중금속 함량을 이용해서 식(1)로부터 계산된 농집지수 결과는 Fig. 8~Fig. 11과 같다. Igeo 결과 값이 1 이상으로 나타난 것은 Cu와 Cd으로 전 해역에서 오염된 상태임을 알 수 있었다. 해역별로는 목포내만과 광양만의 몇 개 정점에서 2 이상으로 나타나 상당히 인위적인 영향으로 축적된 상태임을 알 수 있었다. 이는 앞서 EPA 기준치와의 비교에서 같은 경향을 보였다. 이와 같이 단순히 농도 기준치와 비교하여 오염도를 평가하는 것보다 Igeo로 평가하는 것이 인위적인 오염의 영향을 더욱 잘 반영할 수 있음을 알 수 있었다.

Table 6. Results of the content of heavy metals in sediment (Unit : mg/kg, n = 3)

Site	Cu	Cd	Pb	Zn
SB01	6.463	0.071	8.546	37.54
SB02	6.408	0.085	8.715	39.47
SB03	4.907	ND	7.769	30.81
SB04	7.208	0.033	7.208	39.50
SB05	8.428	0.113	9.654	52.25
SB06	1.300	0.047	0.910	13.53
GB01	9.169	0.255	12.28	81.90
GB02	17.04	0.265	18.70	103.7
GB03	16.82	0.314	21.74	124.8
GB04	16.21	0.214	18.42	105.0
GB05	16.48	0.285	19.98	113.4
GB06	16.62	0.252	16.29	111.1
GB07	9.346	0.157	9.346	54.65
GB08	14.08	0.204	18.78	89.59
GB09	8.465	0.094	9.279	67.23
MB01	17.10	0.229	22.55	83.97
MB02	16.93	0.183	20.72	86.26
MB03	18.48	0.165	18.87	84.44
MB04	12.83	0.130	16.98	75.42
MB05	17.81	0.241	18.92	106.6
MB06	18.30	0.147	19.838	123.2
MB07	29.95	0.097	15.79	80.18
MB08	31.12	0.212	29.73	120.5
MB09	20.21	0.191	21.45	101.2
MB10	4.706	0.184	5.293	30.39
MB11	8.625	0.120	8.094	42.23

(SB : Shinan Bigum, GB : Gwangyang Bay, MB : Mokpo inner Bay)

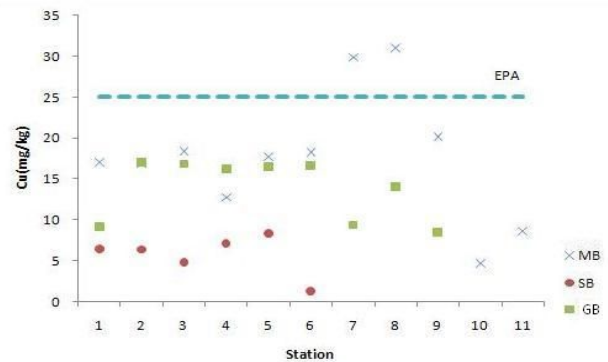


Fig. 4. Concentration of Cu in sediment base on EPA (SB : Shinan Bigum, GB : Gwangyang Bay, MB : Mokpo inner Bay).

광양, 목포, 신안 주변해역 해저퇴적물의 오염도 평가에 관한 연구

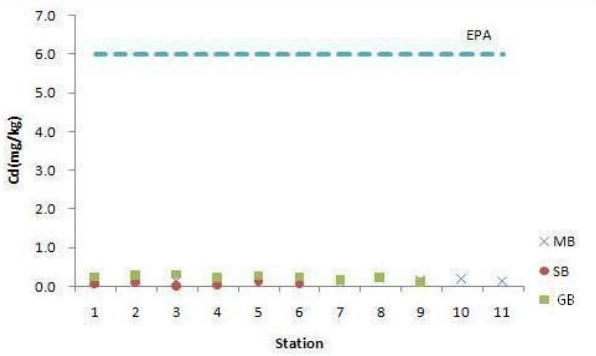


Fig. 5. Concentration of Cd base on EPA (SB : Shinan Bigum, GB : Gwangyang Bay, MB : Mokpo inner Bay).

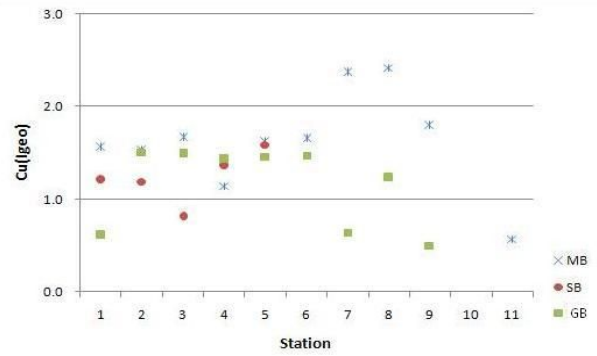


Fig. 8. Result of Cu Igeo (SB : Shinan Bigum, GB : Gwangyang Bay, MB : Mokpo inner Bay).

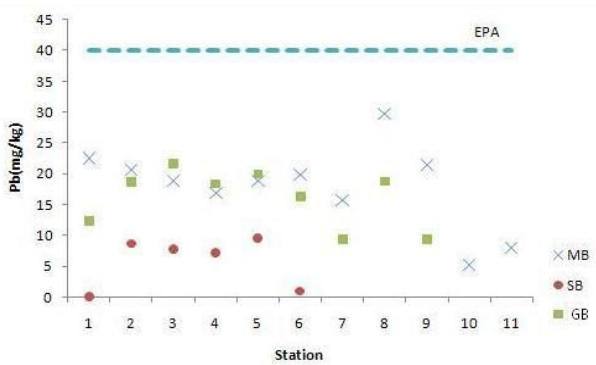


Fig. 6. Concentration of Pb in sediment base on EPA (SB : Shinan Bigum, GB : Gwangyang Bay, MB : Mokpo inner Bay).

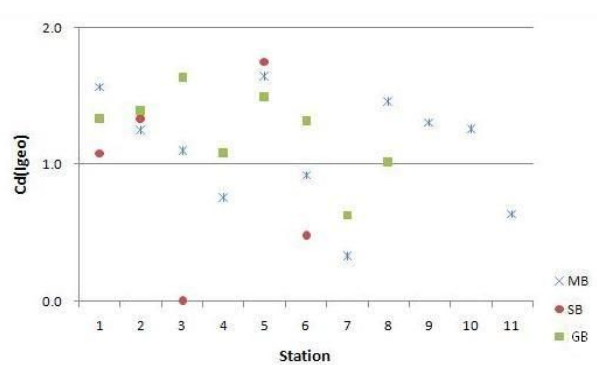


Fig. 9. Result of Cd Igeo (SB : Shinan Bigum, GB : Gwangyang Bay, MB : Mokpo inner Bay).

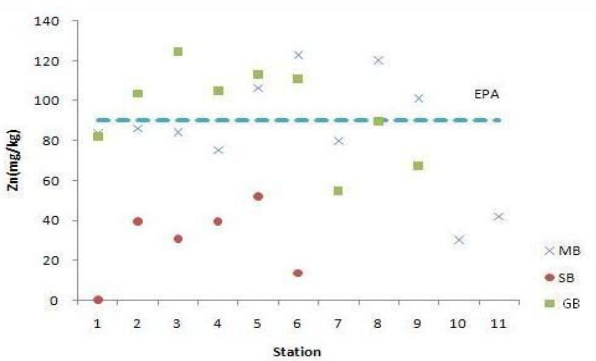


Fig. 7. Concentration of Zn in sediment base on EPA (SB : Shinan Bigum, GB : Gwangyang Bay, MB : Mokpo inner Bay).

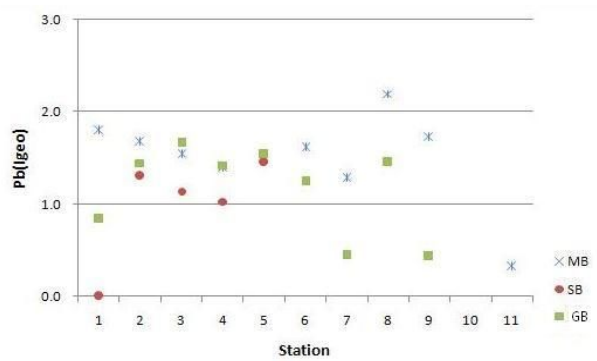


Fig. 10. Result of Pb Igeo (SB : Shinan Bigum, GB : Gwangyang Bay, MB : Mokpo inner Bay).

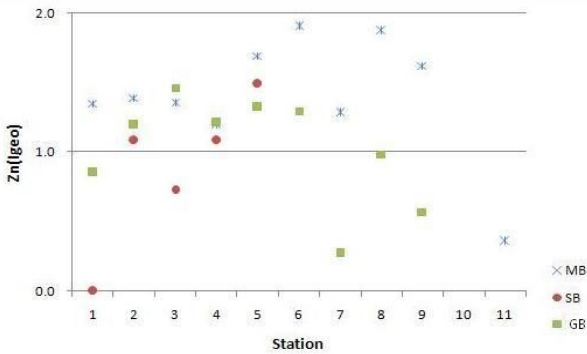


Fig. 11. Result of Zn Igeo (SB: Shinn Bigum, GB: Gwangyang Bay, MB: Mokpo inner Bay).

4. 요약

해저퇴적물의 오염도 평가에 있어 외국의 기준치와 단순 비교 평가하는 것에서 벗어나 퇴적물의 COD와 AVS를 조사하여 해양환경의 수질평가와 같이 그 농도 구간에 따라 점수화해서 해저 퇴적물의 오염도를 평가하였다. 그 결과 공단 및 산업단지가 없는 신안 비금해역과 임해공단지역과 각종 산업시설이 산재되어 있는 광양만에서는 I등급이었고 목포내만은 III등급으로 평가 되었다. 따라서 퇴적물 COD와 AVS 조사 외 IL, ORP와 퇴적물의 영양염 농도 등의 항목을 추가해서 평가하는 방법이 더욱 정확할 것으로 생각되었다.

목포내만, 신안비금, 광양만의 해저 퇴적물 내의 Cu, Cd, Pb, Zn의 함량을 조사하여 최근에 고시된 국내 퇴적물 환경기준치와 비교한 결과, 모든 항목이 해양환경에 부정적인 영향이 거의 없을 것으로 예측되는 TEL이하였다. 미환경정보보호국(EPA)의 기준치와 비교한 결과에서는 몇 개의 지점에서 Cu, Zn의 함량이 비오염 기준보다 약간 높은 중간오염상태를 보였다. 반면에 Cu, Cd, Pb, Zn의 함량은 비오염 상태였다.

조사된 중금속 함량 결과로부터 구한 농집지수(Muller, 1979)로 평가한 결과, 목포내만 3개 지점에서 Igeo-class 3 였고, 다른 해역 대부분 정점에서는 Igeo-class 2 이하로 중간오염 상태였고, 일부 정점에서 비오염 상태를 보였다. 따라서 해저 퇴적물의 오염도를 정확하게 평가하기 위해서는 Igeo를 이용한 방법이 보다 구체적이고 인위적인 오염상태를 알 수 있을 것으로 판단되었다.

이상의 결과에서 청정한 해역에서는 퇴적물의 COD와 AVS와 같은 퇴적물의 일반항목으로 오염도를 등급화하여 해저퇴적물의 오염 정도를 파악할 수 있겠으나, 임해공단과 각종 산업폐수 및 생활오수로부터 오랜 기간 동안 오염된 해역의 경우에는 퇴적물의 일반항목과 더불어 중금속과 같은 추적물질을 이용한 평가가 더욱 정확할 것으로 판단되었

다. 아울러 단순히 퇴적물의 오염기준치에 비교하는 것보다 인위적인 오염의 영향을 추정할 수 있는 부하지수 평가법이나 Igeo 평가기법 등이 병행되어 해저 퇴적물의 오염도를 평가하는 것이 더욱 정확할 것으로 생각되었다.

참 고 문 헌

- [1] Gang, J. H.(2010), The Study of Geochemical Characteristics and Heavy Metal Pollutions in the Surface Sediments of Goseong Bay, Korea, pp. 5-35.
- [2] KMLT&MA(2010), Korea Ministry of Land, Transport & Maritime Affairs, Methods of sea water analysis, pp. 138-168.
- [3] Martine, J. M. and M. Whitefield(1983), The significance of the river input of chemical elements to the ocean. In: Wong, C. S., Boyle, E., Rrul, K. W., Burton, J. D., Goldberg, E. D.(Eds), Trace Metals in Sea Water, Plenum Press, New York, pp. 265-296.
- [4] Muller, G.(1979) Schwernettalle in den Sediment des Rheins-Ver-deryngen Seit. Umxchau, pp. 778-783.
- [5] Rubio, B., M. A. Nombel and F. Vilas(2000), Geochemistry of Major and Trace Element in sediments of the Ria de Vigo : an Assessment of Metal Pollution, pp. 968-979.
- [6] Zhang, Luoping, Xin Ye, Huan Feng, Youhai Jing, Tong Ouyang, Xingtian Yu, Rongyuan Liang, Chengtie Gao and Weiqi Chen(2007), Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China, pp. 974-982.
- [7] Zhang, Weiguo, Huan Feng, Jinna Chang, Jianguo Qu, Hongxia Xie and Lizhong Yu(2009), Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone: An assessment from different indexes, pp. 1533-1543.

원고접수일 : 2013년 03월 19일

원고수정일 : 2013년 06월 07일 (1차)

2013년 07월 29일 (2차)

게재확정일 : 2013년 08월 28일