

# 광양만의 퇴적물에 대한 이화학적 조성 및 중금속 함량

주현수\* · 박종천 · 김진 · 이우범<sup>1</sup> · 이성우<sup>2</sup>

(서남대학교 기초과학연구소, <sup>1</sup>여수대학교 해양환경공학부, <sup>2</sup>한국수자원공사 댐관리처)

**Physicochemical Composition and Heavy Metal Contents on the Sediment of Kwangyang Bay. Joo, Hyun-Soo,\* Jong-Chun Park. Jin Kim, Woo-Bum Lee<sup>1</sup> and Sung-Woo Lee<sup>2</sup> (Institute for Basic Science, Seonam University, 720 Kwangchi-dong Namwon, Chonbuk 590-711, <sup>1</sup>Division of Oceanic Environmental Engineering, Yosu National University, Yosu, 550-747, and <sup>2</sup>Korea Water Resources Corporation Department of Dam Management)**

**For the purpose of surveying the physicochemical composition of sediment collected from Kwangyang Bay, the percentage of water loss, COD, H<sub>2</sub>S, grain size and 10 heavy metals were studied at 17 sites. During the surveying period, the changes of the percentage of water loss were appeared 35.5~53.8%. COD and H<sub>2</sub>S were showed 3.8~12.9 mg/g, and 0.1~11.4 µg/g, respectively. In composition of grain size on the sediment, percentages of grain sizes under 74 µm were ranged from 40.5% to 86.7% and above 74 µm were varied from 11.5% to 43.0%. From the spatial distribution of heavy metal using contour map, we can suppose some heavy metal discharges which affect sediment of Kwangyang Bay. It was estimated that Shinpung creek, Ssang-bong creek, and draining area of sewage treatment plant were the main discharge among the heavy metal output sources. By comparison between present study and heavy metal guideline of nonpolluted sea sediment that is provided by EPA, US, it was showed that the contents of Pb and Hg were acceptable but contents of Mn, Zn, Cu, Fe, As, and Cr were higher than those of EPA guideline.**

**Key words : Sediment, Physicochemical composition, Heavy metal contents, Kwangyang Bay**

## 서론

광양만은 한반도 남단의 중앙에 자리잡은 약 230 km<sup>2</sup>의 면적을 갖는 내만으로 북위 34° 50'~35° 00', 동경 127° 35'~127° 25'에 위치하며 우리나라의 서남해역을 대표하는 천혜의 어장 및 어족자원의 산란장으로 매우 중요한 역할을 하고 있다(유 등, 1998). 그러나 1970년 중반 이후 광양만 주변의 광양제철소, 여천석유화학공단, 초남공단 등 임해공업단지의 조성과 급속한 도시화에 따라 연안환경은 점차 변화되어 해양생태계의 파괴라는 심각한 문제에 직면하고 있다(유, 1992; 서와 서,

1993; 위 등, 1993). 특히 광양만의 유입부를 따라 형성되고 있는 방조제와 컨테이너 부두의 건설은 해수유동이 적은 광양만을 더욱 정체성 수역으로 변화시킴으로써 오염물질의 희석·확산을 방해하고 퇴적물의 형성이 가속화되어 해수수질의 악화를 불러 일으키고 적조현상을 유발하는 등 많은 피해를 야기할 수 있다.

이처럼 해수의 교환이 활발하지 못한 만이나 호소의 경우 외부로부터 유입되는 오염물질의 축적 뿐만 아니라 내부생산에 의해 유기질이 형성·침강되고 퇴적되어진 유기질은 저니층의 용존산소를 소모함으로써 결국 혐기적으로 부패하게 되어 저서생물에 치명적인 영향을 미친다(김, 1995; 신, 1996). 해저 퇴적물에 서식하는 이

\* Corresponding author: Tel: 0671) 620-0382, Fax: 0671) 620-0385, E-mail: ecoju@tiger.seonam.ac.kr

매패류를 비롯한 다모류, 갑각류 및 두족류 등은 이동성이 적어 용존산소의 농도 뿐만 아니라 퇴적물에 함유되어 있는 중금속이나 유해물질의 분포에 의해 큰 영향을 받으며 먹이사슬 농축으로 어패류를 식용으로 하는 사람의 건강상에 문제를 일으킬 수 있다(Sobel *et al.*, 1940).

현재까지 광양만을 대상으로 한 연구로는 퇴적물의 물리적 특성이나 중금속 등 성분함량에 관한 연구(박, 1995; 김, 1997; 최, 1997)와 생물상, 해양생물군집 등에 관한 연구(김, 1995; 신, 1996; 안, 1996; 곽, 1997; 추, 1997; 윤, 1998; 최, 1998) 등이 있어 국내의 다른 연안에 비교할 때 연구가 활발한 편이다. 그러나 본 연구자들은 광양만의 개발과 주변환경의 변화가 가속화되고 있기 때문에 해양환경의 변화 역시 클 것으로 인식하고 광양만의 퇴적물의 물리적 성상과 중금속함량을 조사하게 되었다.

### 재료 및 방법

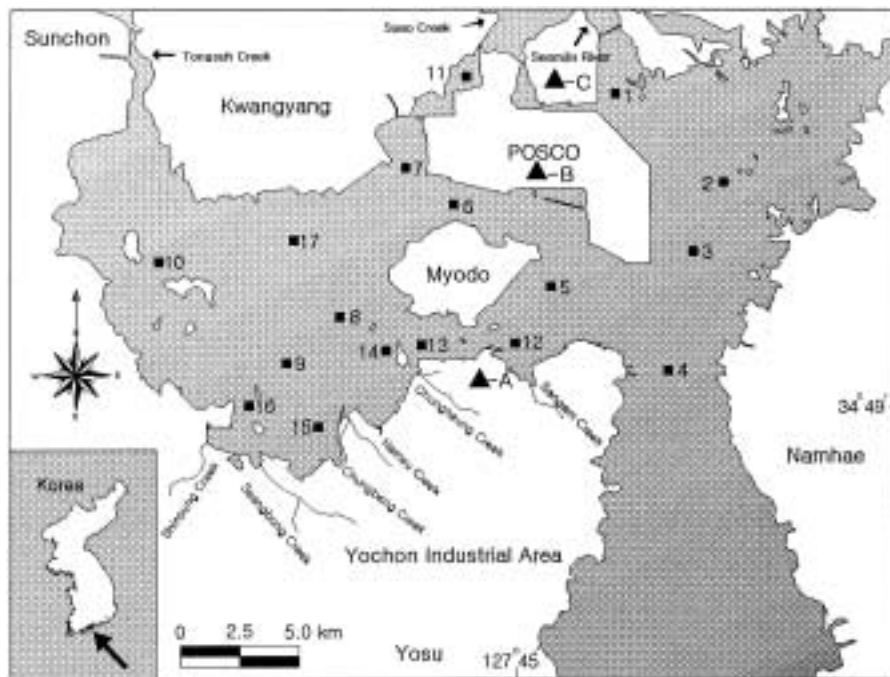
#### 1. 조사정점 및 시료의 채취

1996년 7월, 10월과 1997년 2월, 4월에 총 4회의 시료 채취를 실시하였고, 조사정점은 광양만 전역에 걸쳐 총

17개 정점이다(Fig. 1). 동일한 지점에서 시료를 채취하기 위해 현장조사에 GPS (Garmin GPS III, USA)를 이용하였다. 시료의 채취는 gravity core sampler를 이용하였다. 채취된 시료는 ice box에 넣어 실험실로 운반하여 가능한 한 빠른 시간 내에 처리 및 분석하였다(APHA, 1992).

#### 2. 퇴적물의 이화학적 분석

함수율은 채취된 시료를 100 mesh sieve에 걸러 25g을 도기에 넣고 수욕상에서 증발·건조시킨 후 105°C에서 4시간 동안 건조시켜 방냉 한 다음 습중량과 건중량의 차이를 백분율로 환산하였다. 입도분석은 시료 약 0.5g을 증류수에 현탁하고 입도분석기(Accusizer™ C770)로 분석하였으며 입경의 크기는 74 µm 이상(sand), 이하(silt) 및 500 µm 잔류시료로 구분하였다. 각 조사항목은 3회의 분석을 실시하여 중간값을 취하였다. COD는 음건한 시료 1.0g을 소량의 증류수와 함께 300ml 플라스크에 넣고 NaOH 5 ml와 KMnO<sub>4</sub> 용액 100 ml을 가한 후 수욕상에서 15분간 반응시킨 다음 Oxalic acid 용액 100 ml와 진한 황산 10 ml를 각각 첨가하여 환원시킨 후 방냉하였다. 시료 추출액에 전량이 500 ml가 되도록



- ▲-A: Sewage treatment plant of Environmental Management Association
- ▲-B: POSCO wastewater treatment system
- ▲-C: Wastewater treatment plant of industrial complex related with POSCO

Fig. 1. Location of sampling sites in Kwangyang Bay.

증류수를 첨가한 후, 여과하여 여액 중 100 ml를 취하고 여기에 과망간산 칼륨 용액 10 ml를 정확히 가하고 KI 용액 5 ml를 넣어 전분용액 지시약으로 발색한 다음 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 용액으로 적정하여 정량하였다. H<sub>2</sub>S의 분석은 습시료 2.0 g을 취하여 증류수 5 ml와 함께 가스발생관에 주입시키고 검지관을 연결하여 검지관의 변색정도에 따라 시료로부터 발생된 H<sub>2</sub>S를 정량하였다. 중금속의 분석은 음건하여 분쇄한 시료 1.0 g을 테플론 비이커에 넣고 진한 질산 12 ml, 과염소산 6 ml, 불산 8 ml를 각각 가하여 밀봉한 다음 175°C로 가열하여 시료가 투명해질 때까지 반응시키고 개봉하여 산을 증발시켰다. 여기에 1 N-HNO<sub>3</sub> 50 ml를 넣고 금속원소를 용출시킨 후 ICP-MS (Fisons Instruments, PQI Turbo plus) 또는 ICP (Jobin, Model 138)로 측정하였다. 수은은 cold vapor generation method (Takamatsu *et al.*, 1985)를 적용하였으며 Atomic Absorption Spectrophotometer (Verian AA-30)로 정량하였다.

**결과 및 고찰**

**1. 퇴적물의 일반적 특성**

함수율은 시료중의 수분함량을 나타낸 것이다. 전체 조사지점의 함수율 변화는 35.5~53.8%를 나타내어 조사지점에 따라 큰 차이는 보이지 않았다. 퇴적물에서 함수율의 범위가 30~70% 나타나는 점에 비교해 볼 때 이 범위에 포함되는 결과로 판단된다. 퇴적물 내의 COD 농도는 3.8~12.9 mg/g을 나타내었다. 이러한 결과는 이 (1995)의 보고와 유사한 농도범위를 나타내는 것으로 보이며 광양만 해수의 COD 농도분포가 1.7~6.9 mg/l 정도의 분포를 나타내고 있는 것 (박 등, 1998; 유 등, 1998)에 비교하면 해수에 비해 퇴적물의 COD 분포는 약 2배 정도 높게 유지되고 있는 것으로 생각된다. 퇴적물 중의 H<sub>2</sub>S는 유기물이 혐기적 상태에서 환원되는 과정에서부터 발생되는 것으로 유기물의 약 53%는 황산 환원균에 의해 무기화 되는 것으로 알려지고 있다 (Jørgensen, 1977). 그러므로 퇴적물 내에 존재하는 H<sub>2</sub>S의 함량은 그 지역의 유기물 부하정도와 분해상태를 나타낸다. H<sub>2</sub>S의 조사결과를 지점에 따라 살펴보면 조사 지점 1에서 평균 11.4 µg/g으로 다른 조사지점에 비해 높은 것을 알 수 있다. 조사지점 1은 섬진강으로부터 담수가 유입되는 지점으로 담수와 함께 유기물의 유입이 일어나고 있는 것으로 생각된다 (Fig. 1).

일반적으로 퇴적물의 성분 중 점토의 구성비가 높을 경우 퇴적물과 수체 사이에 이온 교환율이 높고 유기물

**Table 1.** The physicochemical characteristics on the sediment of Kwangyng Bay from July 1996 to April 1997.

Factor Site	DL (%)	COD (mg/g dry wt.)	H <sub>2</sub> S (µg/g dry wt.)	Grain size (%)		
				>500 µm	>74 µm	Silt
1	48.5±5.6	11.5±4.6	11.4±5.2	0.3	32.4	67.3±13.6
2	41.7±7.2	8.0±2.7	1.4±0.8	17.7	24.3	58.0±9.5
3	35.7±7.0	4.2±1.0	0.6±0.2	1.9	43.0	55.1±16.1
4	49.1±6.4	7.1±1.5	2.0±0.7	0.8	16.7	82.5±17.1
5	45.7±4.2	8.0±2.4	1.1±0.8	5.0	12.0	83.0±16.1
6	51.1±1.6	11.2±3.4	1.3±1.3	3.1	15.0	81.9±14.2
7	52.6±5.8	10.2±5.1	7.6±6.2	2.2	14.5	83.3±20.7
8	46.4±6.8	7.0±0.9	0.4±0.3	8.3	19.0	72.7±22.1
9	51.3±3.8	8.6±2.6	1.8±0.9	3.8	13.1	83.1±15.6
10	51.1±3.0	9.3±2.2	1.5±0.9	1.8	11.5	86.7±16.4
11	40.8±12.8	10.3±1.6	2.8±2.4	7.2	37.2	55.6±34.6
12	53.8±3.5	8.8±2.1	2.9±0.9	1.2	18.9	79.9±21.6
13	35.5±5.8	3.8±1.8	0.1±0.0	29.1	30.4	40.5±8.2
14	35.5±4.0	10.5±1.2	1.6±1.3	2.2	17.5	80.3±11.0
15	52.5±4.5	12.3±2.4	2.1±2.3	1.4	24.3	74.3±20.1
16	48.5±10.0	12.9±2.3	2.3±1.4	9.3	16.6	74.1±24.4
17	49.0± 8.3	8.7±1.5	2.3±2.6	1.8	28.8	69.4±23.1

\* mean value ±SD  
DL : dry loss

이나 영양염류 및 흡착성 금속이온의 함량이 높아져 수질에 영양도 및 중금속 함량이 증가시키는 악 영향을 미칠 수 있다 (Nielson, 1974; Truog and Meyer, 1979). 광양만의 퇴적물을 구성하고 있는 점토 (74 µm 이하)의 성분비는 지점에 따라 약간의 차이를 나타내고 있으나 40.5~86.7%를 보였다. 74 µm 이상의 입경을 갖는 사질이 11.5~43.0%, 500 µm sieve 잔유물이 0.3~29.1%를 각각 나타내었다 (Table 1). 이 결과는 광양만을 대상으로 조사한 Choi and Koh (1984)의 결과와 여자만을 대상으로 조사한 임 (1989)의 결과에 비교할 때 비슷한 퇴적물의 입도분포를 나타내었다.

**2. 퇴적물의 중금속 함량 및 공간분포**

조사기간 동안의 각 중금속별 평균농도분포를 살펴보면 크롬은 26.2~121.53 mg/kg을, 알루미늄 56.53~106.53 g/kg, 철 31.24~57.01 g/kg, 구리 8.5~52.9 mg/kg, 납 2.2~46.5 mg/kg, 카드뮴 ND~0.58 mg/kg, 수은 ND~0.025 mg/kg, 비소 6.66~16.45 mg/kg, 망간 373.5~1,177.5 mg/kg, 아연 29.4~296.0 mg/kg으로 각각 나타났다 (Table 2). 분석결과 중 퇴적물에 농축되고 어패류에 전이되어 인체에 악영향을 미치는 것으로 알려진 카드뮴 (Maclean and Dekker, 1978)은 지점 2, 4, 12에서는 검출한계 이하로 나타났으며 나머지 조사지점은 0.2

**Table 2.** Heavy metal contents (mean±SD) of sediment from July 1996 to October 1996. (Unit : mg/kg)

Site	HM	Cr	Al*	Fe*	Cu	Pb	Cd	Hg	As	Mn	Zn
1	88.7	105.66	57.01±5.6	21.5	10.1	0.58	0.025	4.20±0.42	451.0	120.6	
2	121.53	—	43.84±8.1	33.0	2.2	ND	ND	6.75	755.3	99.8	
3	54.6	90.94	36.16	27.0	32.1	0.37	ND	4.55±0.92	674.0	296.0	
4	56.3±19.4	86.32	43.30±0.1	29.5	2.6	ND	ND	8.05±0.35	708.0	118.0	
5	91.3	92.13	44.35±12.0	36.3	28.4	0.33	ND	6.70±2.11	791.4	110.3±12.4	
6	78.6±8.7	89.88	40.40±2.7	37.8	28.7	0.25	ND	7.80±0.62	900.6	96.9	
7	68.4±2.4	91.27	39.36±2.3	37.4	26.1	0.22	ND	10.50±2.10	1,177.5	107.4±8.9	
8	45.7±8.9	—	31.24±10.2	33.3	19.9±6.9	0.23	ND	10.05±1.57	458.0	74.1	
9	54.5±0.6	56.29	31.94±11.5	31.2	22.8	0.28	0.025	10.93±3.10	506.0	98.4	
10	73.6±13.9	106.53	45.05± 5.8	35.1±7.4	25.8±3.9	0.58	ND	15.94±4.12	638.0	113.0±3.0	
11	69.7	91.19	36.58	29.6	—	—	ND	8.96	897.1	129.6	
12	107.5±21.0	100.86±0.85	42.79±1.5	52.9±18.0	28.3	ND	ND	8.85±0.72	636.8	138.5	
13	26.2	—	50.58	8.5	12.5	0.21	ND	6.70	373.5	29.4	
14	72.2±20.2	102.26	43.07	34.9±11.5	36.9±7.9	0.40	ND	9.95±2.81	930.4	116.7	
15	72.3±24.2	58.11	32.14±14.1	35.2±9.3	35.9±8.0	0.47	ND	6.66±0.94	805.3	135.2±4.1	
16	75.2±19.7	95.85	45.71±5.6	41.4±9.9	46.5±6.4	0.54	ND	9.50±0.61	1,110.3	147.9	
17	73.8±13.15	94.82	41.04±3.1	32.7±6.5	32.7±6.5	0.34	ND	16.45±1.63	547.0	121.9	

\* : (unit : g/kg), ND : not detectable, — : not surveyed site  
HM : heavy metal

**Table 3.** Comparison between present study and previous studies. (Unit : mg/kg)

Metal	Data Guideline for nonpolluted (US EPA, 1977)	Athens Greece (Sarvids, 1995)	North Ave. Dam <sup>d</sup> Milwaukee, USA (Novotny, 1993)	Masan Bay Korea (Kim and Lee, 1993)	Kwangyang Bay (NIER Report)	Kwangyang Bay (KIST Report)	Kwangyang Bay (Present study)
Mn	< 300	—	—	329~561	—	282~1,512	173~1,250
Cd	—	—	3.3~11.3	—	3.6~4.8	0.023~0.262	ND~4.0
Pb	< 40	90~190	77.8~432	38~76	28.8~34.7	1.5~70.4	ND~32.1
Zn	< 90	900~2,000	62.5~636	198~616	—	13.4~107.5	21.4~156
Cu	< 25	160~260	11.5~143.8	18~89	12.6~15.8	1.4~29.1	3.0~129.6
Fe	< 17,000	6,440~11,890	—	—	—	7,600~40,900	25,304~60,228
As	< 3	—	—	—	—	2.4~11.9	3.9~18.8
Al	—	—	—	—	—	11,800~82,300	10,261~106,531
Cr	< 25	660~1,420	13.3~90.1	38~60	—	8.4~64.4	26.2~284
Hg	< 1	—	0.28~0.88	—	ND~0.27	0.025~0.036	ND~0.025

~0.58 mg/kg의 범위로 검출되었다. 수은은 조사지점 1 과 9에서 각각 1회씩 0.05 mg/kg의 농도로 검출되었으며, 2회의 조사에서 나타난 평균치는 0.025 mg/kg로 cold vapor generation method를 적용할 경우 수은의 검출한계인 0.007 mg/kg를 약간 상회하고 있다.

조사된 자료를 토대로 하여 광양만 퇴적물 내의 중금속 함량분포를 공간적으로 표현하고 중금속의 분포에 기여가 큰 배출원을 추정하기 위해 graphic software인 Winsurfer (Golden software, USA)를 이용하여 등농도 분포곡선(contour map)을 작성하였다(Fig. 2). Fig. 2에 제시된 각 중금속별 등농도 분포곡선에 따라 주요 발생원을 추정해 볼 때 크롬의 경우 여천공단 인근에 위치

하고 있는 신평천, 쌍봉천, 중흥천 등이 유입되는 지점에서 높게 나타나며 환경관리공단 폐수처리장과 광양제철의 주변 지점에서도 높은 분포를 보이고 있다. 철은 신평천, 쌍봉천 부근과 광양제철 및 연관공단의 동측에서 높게 나타났으며, 구리의 경우 신평천, 쌍봉천, 중흥천 유입부와 환경관리공단 배출수역에서 높았다. 납과 망간은 신평천, 쌍봉천, 남수천, 중흥천 유입부에서 높은 분포를 보이고 있으며 카드뮴은 신평천, 쌍봉천 유입부와 광양제철 연관단지 부근의 해역에서 높게 나타났다. 비소는 다른 중금속의 분포와 비교할 때 광양만 전체의 퇴적물에서 고른 분포양상을 띠고 있는 것으로 판단되며 이 중 기여도가 큰 배출원을 추정하면 동서천 유입부와 환

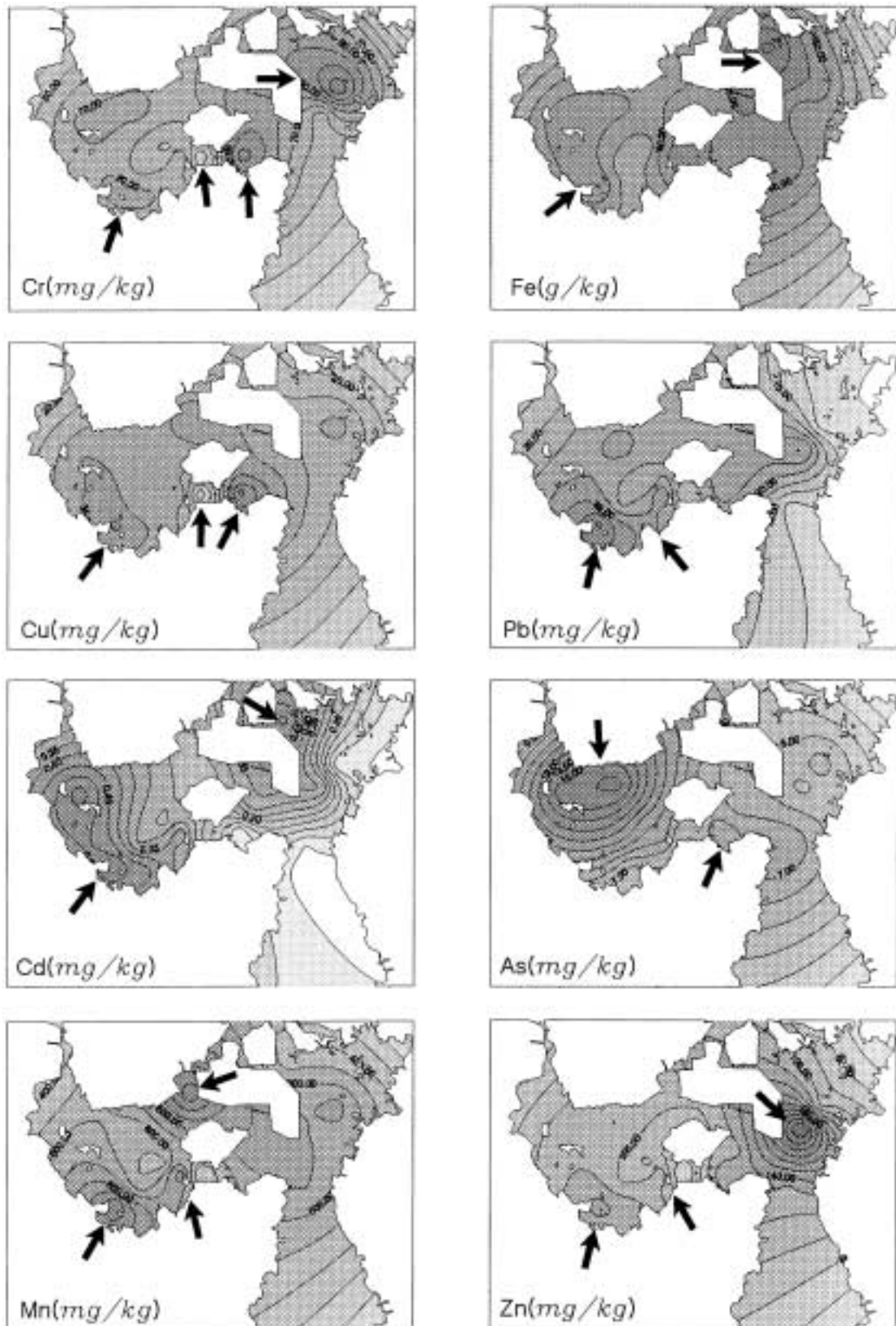


Fig. 2. Spatial distribution of heavy metal in sediment of Kwangyang Bay.

경관리공단 배수역을 들 수 있다. 망간은 배출원 추정에서 납의 분포와 유사한 경향을 보인다. 이러한 배출원의 추정은 단순한 퇴적물의 중금속 농도분포를 기준으로 한 것이므로 해수유동을 비롯한 조석에 의한 영향 등 실제 해역에서 중금속의 동태에 관여하는 모든 물리적 화학적 환경요인을 고려하지 않은 것이며 단지 평면적인 분포를 기준으로 한 판정임을 밝혀두고자 한다.

### 3. 기존 연구와의 비교

본 연구결과를 기존에 연구 보고된 국내외의 자료와 미국 EPA (1977)의 기준 등에 비교하였으며 비교자료는 Table 3에 제시하였다. 미국 EPA (1977)에서 제시하는 비오염수역의 기준은 망간의 경우 300 mg/kg 이하이며 본 조사결과가 최고 4배까지 높은 것으로 나타났다. 납과 수은은 기준을 모두 만족하고 있는 것으로 비교되었으며 아연, 구리, 철, 비소, 크롬 등은 guideline을 모두 상회하고 있다. Sarvids (1995)에 의해 조사된 Greece 연안의 퇴적물에 대한 중금속 함량자료와 본 조사결과를 비교하면 납, 아연, 구리, 철, 크롬 모두 본 조사결과가 훨씬 낮은 농도로 나타난 반면, North Avenue Dam의 조사자료(Novotny, 1993)에 비교할 때 크롬의 경우 본 조사결과가 2~3배 정도 높으며 나머지 조사항목인 카드뮴, 납, 아연, 구리 등은 낮거나 유사한 농도의 범위에 속하는 것으로 비교되었다. 한편 국내 연안에 대한 기존의 연구결과로서 Kim and Lee (1993)에 의해 연구 보고된 마산만 퇴적물의 중금속함량과 본 연구결과를 비교하면 망간과 구리는 Kim and Lee (1993)의 제시자료보다 높거나 낮아 전체 농도범위를 포함하고 있으며 아연은 마산만의 농도에 비해 0.2~0.3의 비율에 해당되는 낮은 농도이다. 현재까지 광양만을 대상으로 조사한 보고와 본 조사를 비교하면 국립환경연구원 (1996)의 조사자료의 경우 본 조사결과와 카드뮴과 납에서는 유사하였으나 구리의 경우 국립환경연구원(1996)의 자료가 약 10배정도 낮으며(최고치의 비교) 수은은 1.4배 가량 높은 것으로 비교되었다. 한국과학기술원 (1996) 조사자료와 본 연구결과를 비교하면 망간, 납, 아연, 비소 등의 항목에서 비슷한 농도범위를 보였으며, 본 연구결과가 최고값을 비교할 때 카드뮴은 약 15배, 구리 4.5배, 철 1.5배, 알루미늄 1.3배 크롬 4.4배로 높은 것으로 비교되었다.

## 적 요

본 연구는 광양만 퇴적물의 이화학적 조성과 중금속 함량을 알아보기 위해 합수율, COD, H<sub>2</sub>S, 입도 및 10가

지의 중금속을 17개 조사지점에 대해 분석·조사하였다. 조사기간동안 나타난 결과로서 퇴적물의 합수율 변화는 35.5~53.8%를 나타내었다. COD와 H<sub>2</sub>S는 각각 3.8~12.9 mg/g, 0.1~11.4 µg/g를 나타내었다. 퇴적물 입도의 구성은 입경 74 µm 이하가 40.5~86.7% 74 µm 이상이 11.5~43.0%로 나타났다. 등농도 분포도를 이용한 중금속의 공간분포로부터 광양만 퇴적물에 영향을 미치는 몇 곳의 배출원을 추정할 수 있었다. 중금속 배출원 중 여천공단 내의 신평천, 쌍봉천 그리고 하수처리장의 방류수역이 주요 배출원으로 판정되었다. 중금속의 분석결과를 US, EPA 비오염해역의 guideline에 비교할 때 납과 수은은 guideline에 모두 적합한 것으로 평가되었으나 망간, 아연, 구리, 철, 비소, 크롬 등은 guideline을 모두 상회하고 있다.

## 참 고 문 헌

- 박석남. 1997. 광양만 대도주변 잘피밭의 생물상과 어류의 섭식생태. 부경대학교 대학원 박사학위논문 411pp.
- 국립환경연구원. 1996. 여천공단 주변 환경오염실태 현지조사 결과보고서 (1단계). 240pp.
- 김규용. 1997. 광양만내 유기주석화합물의 해수, 퇴적물, 생물 중 농도 및 분포 상관관계. 부경대학교 대학원 석사학위논문 97pp.
- 김신정. 1995. 광양만 동부해역 퇴적물 특성과 저서성 유공충 군집 분포. 부산수산대학교 대학원 석사학위논문 74pp.
- 박점숙. 1995. 광양만에서의 잔류 유기인 농약성분. 부산수산대학교 대학원 석사학위논문 50pp.
- 박종천, 이우범, 주현수. 1998. 광양만 생태계의 미생물군집에 관한 환경요인 분석. 한국환경생물학회지 16: 143-150.
- 서호영, 서해림. 1993. 광양만의 부유성 요각류 출현량의 계절 변동. 한국환경생물학회지 11: 26-34.
- 신상호. 1996. 광양만 바지락 (*Tapes philippinarum*: bivalvia)의 성장과 생산. 여수대학교 대학원 석사학위논문 118pp.
- 안용락. 1996. 광양만 잘피밭에 서식하는 십각류 군집의 계절 변동. 부산수산대학교 대학원 석사학위논문 70pp.
- 위인선, 전순배, 이종빈, 나명석. 1993. 광양만 미생물 군집에 관한 환경요인 분석. 한국환경생물학회지 11: 11-16.
- 유수현. 1992. 서남해역에서 성계의 배우자와 배아를 이용한 연안해수 환경평가에 관한 연구. 전남대학교 석사학위논문, 73pp.
- 유춘만, 주현수, 박종천, 이우범, 이원교. 1998. 말뚝성게 (*Hemimicentrotus pulcherrimus*)의 배우자를 이용한 광양만 해수의 생물학적 수질평가. 한국환경생물학회지 16: 319-327.
- 윤성진. 1998. 광양만 주변 해역의 동물플랑크톤 분포: 수괴지

- 표종을 중심으로. 한국해양대학교 대학원 석사학위논문 114pp.
- 임인호. 1995. 광양만 및 동해남부해역의 저층경계면에서 탄소순환과 유기물분해에 관한 연구. 부산수산대학교 대학원 석사학위논문 90pp.
- 임주환. 1989. 여자만의 저서동물 군집에 관한 연구. 전남대학교 대학원 석사학위논문 36pp.
- 최승호. 1998. 광양만 주변 해역의 식물플랑크톤의 군집특성. 한국해양대학교 대학원 석사학위논문 97pp.
- 최정민. 1997. 광양만과 여수해만의 퇴적환경. 여수대학교 대학원 석사학위논문 66pp.
- 추현기. 1997. 광양만 대도주변 어류의 종조성 변화. 부경대학교 대학원 석사학위논문 59pp.
- 한국과학기술원. 1996. 여천공단 주변마을 환경영향 및 대책에 관한 연구보고서. 1099pp.
- APHA, AWWA, AEF. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed., APHA, Washington.
- Choi, J.W. and C.H. Koh. 1984. A study on the polychaete community in Kwangyang Bay, Southern coast of Korea. *Korean J. Oceanogr.* **19**: 153-162.
- Jørgensen, B.B. 1977. The sulfur cycle of a costal marine sediment. *Limnol. Oceanogr.* **22**: 814-832.
- Kim, B.J. and C.W. Lee. 1993. Forms of phosphorus in the sediments of Masan Bay, Korea. *Wat. Sci. Tech.* **28**: 195-198.
- Mackean, A.J. and A.J. Dekker. 1978. Availability of zinc, copper and nickel to plants grown in sewage-treated soil. *Can. J. Soil Sci.* **58**: 381-389.
- Nielson, L.K. 1974. Mud-water exchange of phosphate and other ions in undisturbed sediment cores and factors affecting the exchange rate. *Arch. Hydrobiol.* **2**: 218-237.
- Novotny, V. 1993. Source and delivery of sediments contaminated by toxic metals to the North Avenue Dam, Milwaukee, USA. *Wat. Sci. Tech.* **28**: 103-116.
- Sarvides, C. 1995. Sea sediments contaminated with heavy metals. *Wat. Sci. Tech.* **32**: 66-73.
- Sobel, A.E., H. Yuska, D.D. Peters and B. Kramer. 1940. The biochemical of Pb. *J. Biol. Chem.* **132**: 239-265.
- Takamatsu, T., M. Kawashima and M. Koyama. 1985. General distribution profiles of thirty-six elements in sediments and manganese concretions of Lake Biwa. *Natl. Inst. Environ. Stud. Res. Rep.* **75**: 1-18.
- Truog, E. and A.H. Meyer. 1979. Improvement in the deniges colorimetric method for phosphorus and arsenic. *Ind. Eng. Chem. Anal.* **1**: 136-139.
- US EPA. 1977. Guideline for the pollution classification of Great Lakes Harbor sediment. US Environmental Protection Agency, Region V, Chicago.