Journal of the Korean Society
for Marine Environmental Engineering
Vol. 3, No. 4. pp. 56~64, November 2000

하계 마산만 혐기성 환경에서의 미량금속의 거동

진용현[(1)], 김경태[(1)], 정창수[(1)], 김석현[(1)], 양동범[(1)], 홍기훈[(1)], 이광우[(2)]

Behavior of trace metals in Masan Bay, Korea during oxygen deficient period

by
Y.H.Jin[(1)] K.T.Kim[(1)], C.S.Chung[(1)], S.H.Kim[(1)], D.B.Yang[(1)], G.H.Hong[(1)]
and K.W.Lee[(2)]

요 약

1999년 8월, 마산만의 용존산소는 표층으로부터 저층으로 가면서 급격히 감소하는 수직분포를 보였다. 모든 정점에서 저층수중 빈산소현상이 나타났으며 무산소 상태인 정점도 있었다. 마산수로에서 표층수의 용존성 Cd, Zn은 마산만 안쪽에서 바깥쪽으로 가며 점차 감소하였고 Pb의 경우 안쪽에서부터 바깥쪽으로 가며 증가하는 경향을 보였다. 저층수중 Cd, Cu Pb, Zn의 용존성 미량금속농도는 표층수보다 대체로 낮은 농도를 보였으나 Co는 빈산소 상태이거나 혐기성 환경인 저층수와 퇴적물로부터 용출되었기 때문에 저층수에서 높은 값을 보였다. 입자성(acid-leachable fraction) Cd, Cu, Pb 그리고 Zn은 표층보다 저층에서 대체로 높은 함량을 나타냈다. 본 조사에서는 저층수의 용존산소의 포화율이 낮을수록 Cd, Cu, Pb 그리고 Zn의 K_d 값이 증가하는 경향을 보였다. 표층퇴적물에서 Cd, Cu 그리고 Zn 등 원소들은 내만 육수유입원으로부터 멀어질수록 농도가 감소하는 경향을 보였다.

Abstract

Behavior of trace metals in Masan Bay, Korea was studied in August 1998 when the oxygen deficient condition occurred. Dissolved Cd and Zn concentration in the surface waters decreased with increasing distance from Masan Harbor. Dissolved concentrations of Cd, Cu Pb and Zn in the surface waters were higher than bottom waters. Particulate(acid-leachable fraction) concentrations of Cu, Cd and Pb in the suface waters of Masan Bay decreased with increasing distance from Masan Harbor. Bottom waters contained higher concentrations of particulate Cd, Cu, Pb and Zn than surface waters. Distribution coefficients between dissolved and particulate phase (K_d) of Cu and Cd decreased with the increasing distance from the Harbor, possibly due to reaction of these elements with sewage-derived particulate matter. Al, Zn, Cu, Cd, and Pb in the surface sediment showed relatively high concentration in the inner Masan Bay.

Keyword: dissolved metal, particulate metal, anoxic condition

(1) 정회원, 한국해양연구소(Korea Ocean Research & Development Institute), yhjiu@kordi.re.kr
(2) 한양대학교 지구해양과학과(Hanyang University)

1. 서 론

마산만은 총 유역면적이 232 Km^2이고 해역부의 면적이 약 43 Km^2 으로써, 폭에 비하여 상대적으로 길이가 긴 전형적인 만입형 내만을 이루고 있다(이 등[1994]). 마산만은 1960년대부터 주변의 공업단지 조성과 인구증가로 비롯된 산업폐수와 생활하수의 유입량이 증가함에따라 부영양화가 진행되어 왔다(환경부[1994]). 이러한 결과로 수온약층이 발달하여 해수의 수직적 혼합이 제한되는 하계에는 매년 저층에 무산소층이 발달하여 왔다(해양연구소[1983]). 수층의 용존산소가 고갈되면, 다음 단계에서는 차례로 질산염과 황산염이 산화제로 이용되며, 황산염이 환원되는 환경에서는 발생되는 유화수소가 황과 친화도를 가지는 용존중금속과 쉽게 착화물을 형성함으로써 이들을 수층으로 제거시키는 역할을 하게 되며, 그 결과로 표층 퇴적물에는 검은 형태의 황화합물의 침전물이 퇴적된다(Brügmann[1988]). 반면에, Mn과 같은 원소는 혐기성 환경에서는 Mn(IV)의 4가 상태에서 Mn(II)의 2가 상태의 용존성 형태로 쉽게 환원하게 된다. 이곳 마산만에서의 미량금속에 관한 연구가 그동안 다수 이루어져 왔지만(권 등[1998], 김 등[1994], 이 등[1994], 이 등[1984]) 혐기성 환경에서의 미량금속원소에 관한 연구는 이곳 마산만처럼 계절적으로 혐기성 환경을 형성하는 해역에서의 미량금속원소의 분포 및 기작을 형성하는데 있어서 매우 중요하다.

2. 재료 및 방법

혐기성 환경에서 미량금속원소의 거동을 연구하기 위하여 하계인 1999년 8월 26일에 한국해양연구소의 올림픽 5호를 사용하여 현장조사를 수행하였다(Fig. 1). 해수중 용존산소는 Winkler 법에 의하여 측정하였다. 미량금속 분석을 위한 저층해수 시료는 미리 산으로 세척하여 비닐포장한 5리터들이 Go-Flo 채수기로 채취한 후 미리 산으로 세척된 1 리터들이 폴리에틸렌병에 담았다. 표층 해수는 선박의 도료 등으로부터 발생할지도 모르는 오탁을 방지하기 위하여 미리 산으로 세척된 1 리터들이 폴리에틸렌병을 PVC 막대에 매달아 병뚜껑을 열고 배가 조사정점에 도착하여 속도를 1~2 노트로 낮출 때 채수하였다(Boyle *et al.*[1981]). 채취된 시료는 산으로 세척된 0.4 ㎛ Nuclepore 막여과지로 여과하고 증류된 6 N 염산을 가한 다음 분석때까지 상온에서 보관하였다. 해수중 용존성 미량금속의 분리·농축은 APDC-DDTC Freon 추출법으로 하였다(Danielsson *et al.* [1978]). 여과를 포함한 시료의 모든 전처리 과정은 오탁을 방지하기 위하여 Class-100 수준의 청결실험대내에서 수행되어졌다.

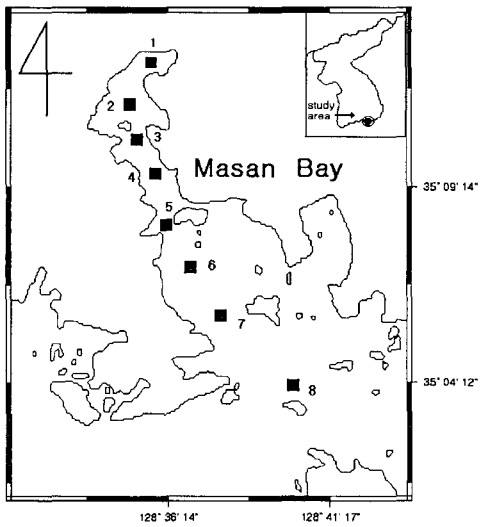

Fig. 1 Sampling stations of Masan Bay in August, 1999.

추출된 시료는 비불꽃 원자흡수분광기(Perkin Elmer 1100B)로 미량금속 농도를 측정하였다. 입자성 미량금속은 acid-leachable fraction의 방법으로 분리 측정하였다(Brügmann *et al.*[1992]). 이렇게 분리한 용액의 미량금속은 ICP-MS(VG PQⅡ$^+$)와 불꽃 원자흡수분광기(Perkin Elmer AA 300)를 이용하여 측정하였다.

미량금속 분석용 표층퇴적물은 채취후 동결 건조시킨 후 200mesh이하로 분쇄된 시료 약 0.2g을 취하여 혼합산 용액($HF+HNO_3+HCLO_4$)을 가하여 Hot plate에서 170 ℃ 내외로 가열 분해한 다음 반응물을 완전히 건조하였다. 여기에 1% HNO_3를 가하여 총 희석배수 1,000으로 하여 Al,

Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb 등 9개 원소를 ICP-MS로 측정하였다.

한편, 본 연구에서 중금속분석 자료의 질을 관리하기 위하여 용존성 중금속과 퇴적물에 대하여 각각 캐나다 NRC 의 CASS-3 와 Marine sediment 표준물질 MESS-2도 함께 처리 분석하였다. 분석의 정확도는 용존성 미량금속에 대해서는 96 % - 117 %, 그리고 퇴적물에 대해서는 91 % - 104 % 정도의 오차 범위내에서 일치하였다.

3. 결과 및 고찰

마산만의 일반수질 및 용존성 미량금속의 농도는 Table 1에 제시하였다. Fig. 2는 마산내만의 특징을 잘 나타내고있는 St. 2와 St. 5에서의 수온 및 용존산소의 수직분포도이다. 내만의 안쪽에 위치한 St. 2에서는 용존산소의 양이 표층의 6.76 mg/L에서부터 5m층의 0.41 mg/L에 이르기까지 깊이에 따라 급격히 감소하였다. 비교적 수심이 깊은 St. 5의 경우, 수온약층은 4-8m층에서 분포하였고 용존산소는 표층에서 수온약층까지 급격하게 감소하여 그 아래의 8-10m 수층에서 빈산소 상태를 보여주었다. St. 3에서는 약 4m이하의 심층에서 1.18 mg/L의 용존산소 양을 나타내었고 저층인 10m층에서는 0.14 mg/L로 무산소상태를 보여주었다. 내만의 St. 2에서 St. 4 까지는 저층수의 용존산소가 모두 1 mg/L 이하의 극히 낮은 농도의 빈산소 상태를 보였다. 그러나 St. 4에서 St. 8 까지는 표층의 용존산소의 농도가 15 mg/L 이상으로 식물성플랑크톤의 활발한 광합성에 의한 용존산소의 과포화 현상이 나타났다 (Table 1).

3.1 용존성 미량금속

표층수의 경우 용존성 Cd는 0.013 ~ 0.030μg/L의 범위로써, 마산만 안쪽에서 바깥쪽으로 가며 점차 감소하였다. Zn역시 Cd와 비슷한 분포 경향을 보였다(Fig. 3). 이것은 이들 두 원소들이 육상에서 내만으로 유입되어 만 바깥쪽으로 가면서 희석·감소되기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 Pb의 경우 안쪽에서부터 바깥쪽으로 가며 증가하는 경향을 보였는데 이는 Pb의 유입원이 Zn이나 Cd와는 다르다는 것을 보여준다. 해양에서 Pb는

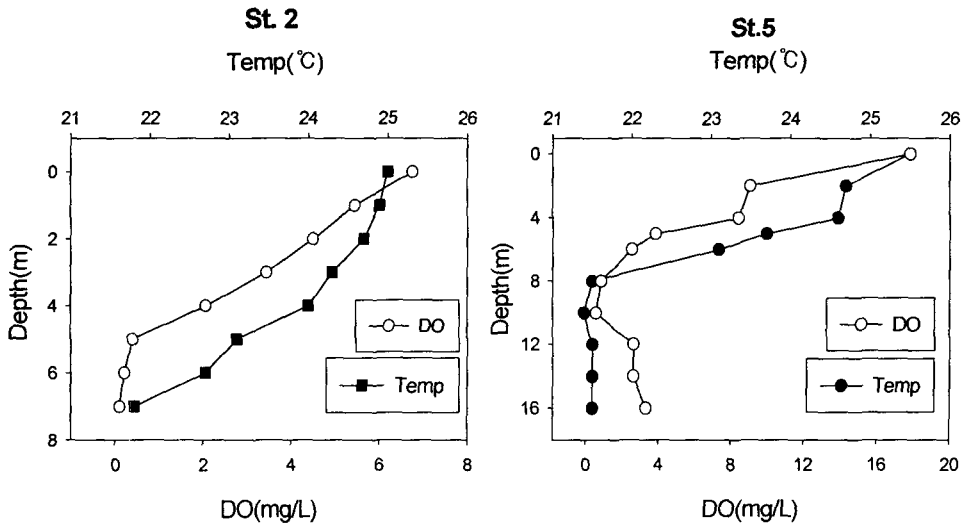

Fig. 2 Vertical profiles of temperature and dissolved oxygen in Masan Bay.

Table 1 Dissolved trace metals in Masan Bay in August 1999(μ g/L).

	Depth (m)	Temp (℃)	SAL (psu)	DO (mg/L)	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
					(μ g/L)					
1	0	25.3	17.80	4.99	-	-	-	-	-	-
2	0	25.0	24.05	7.17	0.030	0.003	0.78	1.22	0.018	3.48
	6	22.7	27.15	0.24	0.012	0.011	0.71	0.55	0.080	1.55
3	0	25.7	23.72	7.13	0.020	0.032	0.08	0.84	0.020	1.58
	10	21.4	30.05	0.01	0.005	0.019	0.10	0.30	0.010	0.42
4	0	25.2	24.93	15.06	0.019	0.005	0.60	0.54	0.044	0.84
	9	21.3	29.51	0.69	0.006	0.017	0.22	0.37	0.036	1.37
5	0	25.5	25.01	17.85	0.013	0.006	0.68	0.61	0.069	1.47
	15	21.5	31.45	3.39	0.007	0.013	0.16	0.27	0.030	0.71
6	0	25.6	25.95	15.8	-	-	-		-	-
	14	21.4	31.73	2.48	-	-	-	-	-	-
7	0	25.4	26.69	15.41	-	-	-	-	-	-
	12	21.5	31.52	2.48	-	-	-	-	-	-
8	0	25.1	26.31	15.81	-	-	-	-	-	-
	19	20.4	32.00	5.75	-	-	-	-	-	-

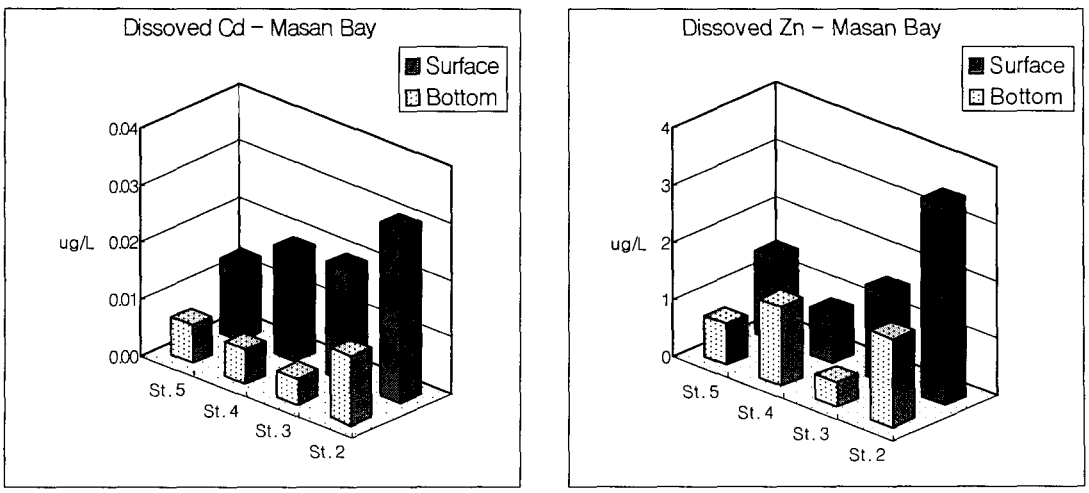

Fig. 3 Dissolved Cd and Zn concentrations in Masan Bay.

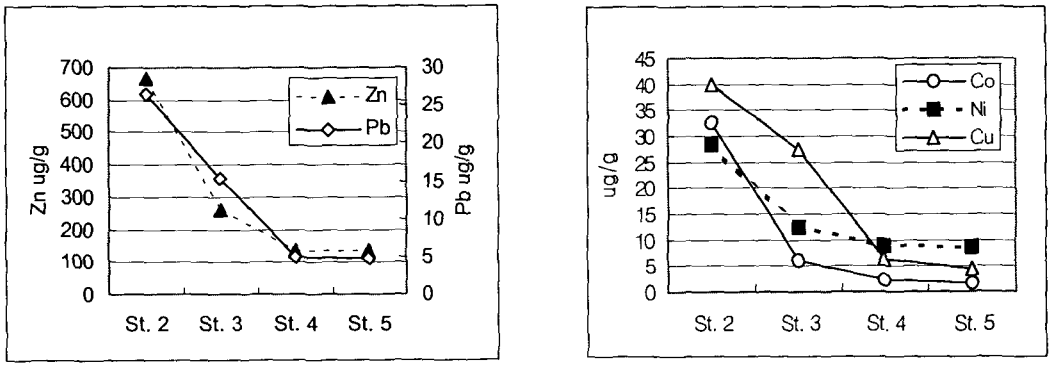

Fig. 4 Acid-leachable particulate trace metals in the surface waters of Masan Bay.

주로 대기를 통해 유입된다(김 등[1994], Chester and Bradshaw[1991]. Buat-Menard[1986]). 저층수중의 농도는 Co를 제외하고는 표층수보다 대체로 낮은 농도를 보였다. 조사정점들중에서 용존산소의 농도가 가장 낮았던 St. 3의 저층에서 Cd(0.005㎍/L), Cu(0.10㎍/L), Ni(0.30㎍/L), Pb (0.010㎍/L), 그리고 Zn(0.42㎍/L)의 농도가 주변 정점들의 저층수에서 보다 현저히 낮은 값을 보였다.

표층과 저층간의 용존성 미량금속농도를 보면 표층보다 용존산소가 매우 낮은 저층에서 Cd, Cu(St. 2제외), Pb(St. 1제외)가 대체로 낮은 농도를 보였으며, Zn은 일부 정점에서 낮게 나타났다.

발트해의 혐기성 환경에서도 용존성 Zn, Cd, Cu, Ni은 용존산소가 풍부한 수층 보다 혐기성 저층수에서 낮은데, 이것은 황산염의 환원으로 유리된 황과의 착화합물형성이 이들 원소의 용해도에 영향을 크게 미치기 때문이다(Kremling [1983]). 그러나 Co는 표층보다 저층수에서 높은 값을 보였다. Co, Fe, 그리고 Mn 등의 산화환원 의존원소들은 대부분 혐기성 환경에서 높은 농도를 보이는데 이는 환원환경에서 저층수의 입자와 퇴적물로부터 Co^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}이 높은 농도로 방출되고 농도평형에 의해 저층수로 확산되기 때문이다(Emerson *et al.*[1983], Balzer[1982], Kremling[1983]). 마산만의 혐기성환경에서 Co의 농도는 St. 3을 제외한 모든 정점에서 표층보다 적게는 2배(St. 5)에서 많게는 4배(St. 2)나 높은 값을 보였다.

한편 우리 나라 서해연안에서 조사된 용존성 미량금속 자료를 보면, 시화방조제 연안에서는 Cu 0.42~0.79㎍/L(평균 0.61㎍/L), Zn 0.37~1.66 ㎍/L(평균 0.70㎍/L), Pb 0.024~0.086㎍/L(평균 0.046㎍/L), Cd 0.018~0.028㎍/L(평균 0.022㎍/L)의 분포를 보였다(한국해양연구소[1997]). 아산만에서는 Cu 0.23~1.15㎍/L(평균: 0.61㎍/L), Zn 0.06~0.99㎍/L(평균 0.25㎍/L), Pb 0.011~0169㎍/L(평균 0.034㎍/L), Cd 0.018~0.050㎍/L(평균 0.030㎍/L) 였다(한국해양연구소[1993]). 본 조사에서 나타난 농도는 원소에 따라 차이가 있으나 대체로 이들과 비슷한 수준이었다.

3.2 입자성 미량금속

본 조사에서 입자성 미량금속은 여과지를 산으로 처리하여 추출된 부분(acid-leachable fraction)을 측정하였다(Table 2). 이는 부유사중의 금속원소의 비율이 거의 일정하므로 연안환경에서 각종 미량금속의 입자에 대한 흡·탈착과 물질수지를 파악하기 위해서는 acid-leachable fraction에 대한 정량적 이해가 필요하기 때문이다.

마산해역에서 내만으로부터의 거리에 따른 acid-leachable fraction의 분포는 Fig. 4에 나타내었다. 표층수중 입자성 Cu의 acid-leachable fraction은 St. 2, 3, 4, 5에서 각각 40, 27, 6.5, 4.3 ㎍/g 으로 마산내만의 안쪽에서 바깥쪽으로 가며 점차 감소하는 경향을 보였다. Cd의 경우 이 정점들에서 1.5, 0.60, 0.33, 0.51 ㎍/g 으로 같은 경향을 보였다. Pb는 26, 15, 5, 4.8 ㎍/g 으로 감소

세를 보여 표층수중 용존성 Pb가 만 바깥쪽으로 가며 증가하는 것과 반대되는 경향을 보였다.

Table 2 Acid-leachable particulate trace metals in Masan Bay in August 1999(μ g/g).

St.	Depth	Cd	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
	(m)	(μg/g)					
2	0	1.50	32	28	40	666	26
	6	0.78	17	26	95	451	168
3	0	0.60	6.1	12	27	259	15
	10	1.30	13	17	51	271	1.8
4	0	0.33	2.2	8.8	6.5	133	5.0
	9	0.56	11	9.0	5.4	110	11
5	0	0.50	1.7	8.5	4.3	137	4.8
	15	0.80	16	24	18	148	25

표층수중의 acid-leachable fraction 미량금속 함량 분포는 마산만 안쪽에 위치한 정점에서 높고 만입구쪽으로 갈수록 점점 낮아지는 경향을 보였다. 이것은 만 안쪽에 미량금속의 유입원이 많고 (김 등[1994]), 각종 유기물과 부유입자에 대한 용존 금속의 친화도 등의 영향에 의한 것으로 추정된다. 본 조사에서 원소 및 정점에 따라 다소 차이가 있지만 입자성 Cd, Cu, Pb 그리고 Zn은 표층보다 저층에서 대체로 높은 함량을 나타내고 있으며, 위에서 언급하였듯이 상대적으로 용존성 미량금속은 낮게 나타났다. 이러한 현상에 대한 연구는 지중해에서도 나타난 바 있는데 지중해의 Tyro와 Bannock basin은 저층에 혐기성 환경이 발달되어 있으며, 심층수의 무산소층의 경계면에서는 Co, Cu 그리고 Zn이 부유물질에 매우 높은 함량으로 존재하였으며, 이것은 혐기성 환경하에서 생성된 금속황화물 침전물에 의한 것이라 하였고(Kremling, K. *et al.*[1997]), 흑해에서도 혐기성 환경의 저층수에서 Cd, Cu, Pb 그리고 Zn은 황화물형성으로 입자상태로 축적되는 것으로 보고되었다 (Lewis and Landing[1992]).

용존성 미량금속과 입자성 미량금속 사이의 분배계수(K_d)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_d = \frac{PM}{DM}$$

여기서 PM 은 입자성 acid-leachable fraction의 미량금속농도이며, DM 은 용존성 미량금속 농도이다.

분배계수 계산을 위해 입자성 미량금속은 acid-leachable fraction만을 대상으로 하였는데 부유사중의 금속원소는 거의 변하지 않는다고 할 때 용존금속과 acid-leachable fraction과의 상관관계만이 의미가 있기 때문이다.

K_d 값은 마산만의 표층수의 경우 만 안쪽의 St. 2에서 3, 4, 5로 가며 Cu는 51, 34, 11, 6($\times 10^3$)으로 점차 감소하며 Zn도 191, 164, 159, 94($\times 10^3$)로 감소하였다. K_d 값은 Cd, Pb의 경우에도 마산내만으로부터 멀어짐에 따라 감소세를 확실히 보였다. 이처럼 K_d 값이 내만쪽에서 높은 값을 보이는 것은 육상기인 부유물질에 미량금속을 흡착할 수 있는 리간드가 더 많기 때문인 것으로 사료된다.

영국의 Mersey Estuary에서도 담수/해수 경계면에서 용존성 Cu, Cd의 제거가 일어나 K_d 값이 높아진다고 보고되었는데 이 두 금속이 도시하수로부터 기인한 부유물질에 잘 흡착하는 특성을 가지기 때문이다(Comber *et al.*[1995]).

본 조사에서는 저층에서 용존산소의 포화율이 낮을수록 Cd, Cu, Pb, Zn의 K_d 값이 증가하는 경향을 보였다(Fig. 5). 이는 용존산소의 포화율이 0~4% 범위에 있을 때 비교적 잘 나타났다. 또한 Cd, Cu, Ni 처럼 영양염 형태의 거동을 보이는 미량금속은 저층수에 산소가 풍부할때는 퇴적물로부터 용출되고 혐기성인 경우는 퇴적물로 침전된다(Bruland and Franks[1983], Westerlund *et al.*[1986]). 따라서 K_d 값의 증가는 혐기성환경의 지속정도를 나타낼 수 있다. 그러나 본 조사에서 저층수는 완전한 혐기성 상태가 아니었고 환원 상태의 퇴적물로부터 발생한 HS^-나 S^{2-}의 존재 여부도 조사되지 않았으므로 K_d 값 증가가 용존성 미량금속의 황화물 형성이나 퇴적물에의 흡착 때문이라고 단언할 수는 없다. 이처럼 용존

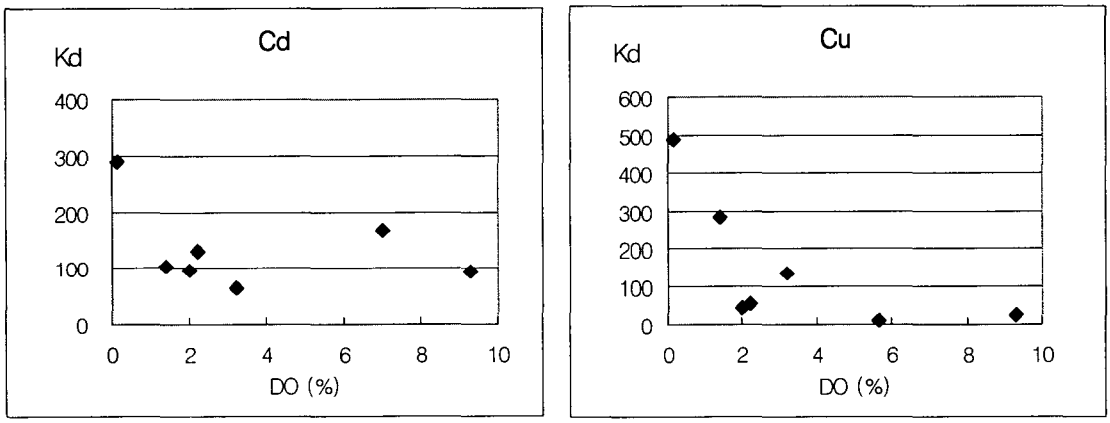

Fig. 5 Relationship between acid-leachable particulate heavy metals and saturation percentage of dissolved oxygen in the bottom waters of Masan Bay.

산소의 포화율이 낮은 곳에서의 K_d 값 증가는 앞으로 더욱 자세한 연구를 필요로 한다.

용존성과 입자성 미량금속 사이의 분배계수 K_d 값은 각 금속원소에 따라 차이가 있는데, 본 조사에서 측정된 미량금속의 K_d 값은 Pb-Co-Zn-Cd-Cu-Ni의 순서로 감소하였다. 이는 발트해에서 K_d 값이 Fe-Pb-Mn-Co-Zn-Cd-Cu-Ni의 경향을 보인것과 비슷하였다(Kremling *et al.*[1997]). 1997-98년 한국해양연구소의 광양만 조사에서는 K_d 값이 Fe-Pb-Co-Zn-Ni-Cu-Cd의 순으로 각각 1.7×10^8, 1.4×10^6, 7.2×10^5, 4.4×10^5, 1.4×10^5, 9.1×10^4, 1.8×10^4 으로 나타났다(진[1999]).

3.3 해저퇴적물중의 미량금속

1999년 8월 마산만에서는 일부 미량금속(Cd, Cu, Zn)의 경우 내만의 육수유입원으로부터 멀어질수록 퇴적물중의 농도가 뚜렷하게 감소하는 경향을 보였다(Table 3, Fig. 6). 그러나 Fe, Ni, Co와 같은 원소들은 지역적 변화가 거의 없었다. Cd, Cu, Zn 등의 원소들은 용존금속과 입자성 금속에서도 마찬가지로 내만 육수유입원으로부터 멀어질수록 그 농도가 감소 분포 경향을 보였으며 이는 육상으로부터 다량의 유기, 혹은 무기 원소들이 유입됨을 시사하고 또한 유입되는 물질들은 표층 퇴적물로 많은 양이 침전된다는 것을 의미한다.

Table 3 Trace metal contents in sediments of Masan Bay in August 1999.

St.	Al	Fe	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	10.2	4.07	703	14.8	31.6	84.7	392	1.13	85.3
2	10.0	4.17	617	15.3	35.4	72.5	311	0.99	47.4
3	9.29	4.07	596	14.3	36.0	67.1	316	0.93	34.2
4	8.81	4.14	664	15.1	38.4	59.6	283	0.89	23.9
6	7.97	4.03	546	14.6	37.8	48.4	246	0.75	39.0
7	8.76	4.19	709	15.1	37.0	37.9	183	0.52	41.1
8	8.48	4.02	1074	15.5	35.8	30.8	145	0.54	34.0

마산만의 표층 퇴적물중 금속원소의 평균 함량은 Al, Fe, Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Zn, Pb가 각각 9.1 4.1%, 0.82, 15.0, 57.3, 701, 36.0, 268, 43.6ppm 이었다.

한편 우리 나라 연안 퇴적물중 금속함량을 보면, 광양만에서는 Mn 618ppm, Co 12ppm, Ni 24ppm, Cu 21ppm, Zn 122ppm, Pb 36ppm, Cr 55ppm이었으며(진[1999]), 마산만에서는 Mn

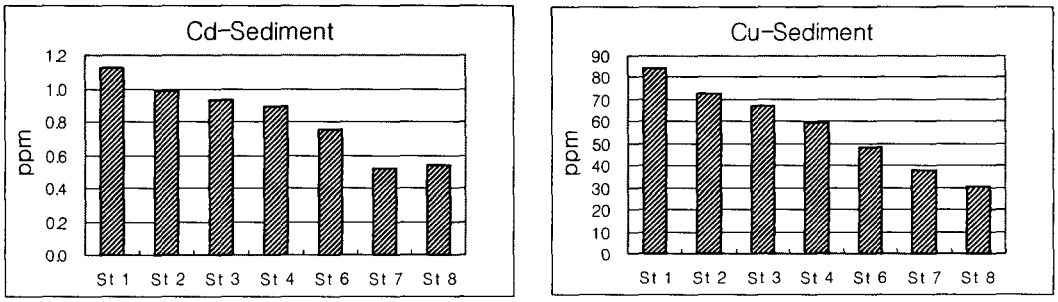

Fig. 6 Distribution of heavy metals in sediments of Masan Bay.

601ppm, Co 13ppm, Ni 31ppm, Cu 84ppm, Zn 370ppm, Pb 68ppm, Cd 2.03ppm, Cr 81ppm이었다. 인천 북항의 가장 오염된 퇴적물은 Cd를 제외하면 마산만과 비슷하거나 높은 수준이었으며, 그 외 지역의 미량금속 함량은 광양만과 비슷하거나 낮은 수준이었다.

4. 결론

1999년 8월, 마산만의 현장조사에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 마산 내만의 용존성 미량금속의 농도는 표층의 경우, Cd와 Zn의 농도가 바깥쪽으로 갈수록 뚜렷이 감소하는 경향을 보였다. 혐기성 환경에 가까운 저층수에서 Co를 제외한 미량금속의 농도가 표층에 비하여 대체로 낮아 이들 원소들이 혐기성 환경시 수층에서 제거되는 기작을 잘 설명해 주었다.

2) 입자성(acid-leachable fraction) Cd, Cu, Pb 그리고 Zn은 표층보다 용존산소 포화율이 낮은 저층에서 K_d 값이 증가하는 경향을 보였으며, 용존산소 포화율과 입자성 미량금속의 농도는 부의 상관관계를 보여주었다.

3) 마산만에서 미량금속의 지역적인 농도분포는, 표층수중 용존성(Cd, Ni, Zn)과 입자성(acid-leachable fraction) 미량금속들이(Cd, Co, Cu, Ni, Zn) 마산만 안쪽에서 바깥쪽으로 가며 점차 감소하였고, 표층퇴적물에서 Cd, Cu 그리고 Zn 등 원소들은 내만 육수유입원으로부터 멀어질수록 농도가 뚜렷하게 감소하는 경향을 보였다. 이것은 만 안쪽에 미량금속의 유입원이 많고 각종 유기물과 부유입자에 대한 용존 금속의 친화도 등의 영향에 의한 것으로 나타났으나 이에대한 향후 보다 세밀한 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 한국해양연구소 기관고유사업인 "남해 물질순환과 생지화학 환경연구" 및 "연안역 육지-해양상호작용연구" 과제의 일환으로 수행되었음.

참고문헌

[1] 권영택, 이찬원, 1998, "하수종말 처리장 처리수의 해양 방류와 퇴적물의 중금속 오염" 한국해양환경공학회지, Vol. 1, No. 1, 83-92.

[2] 김경태, 홍기훈, 이수형, 이동수, 김석현, 김은수, 1994, "진해만 표층해수중금속 농도 분포(1987-88)", 해양연구, 16, 19-27.

[3] 이찬원, 권영택, 1994, "마산만 준설에 따른 해양환경 종합 모니터링", 경남대학교 환경문제연구소.

[4] 이광우, 이동수, 이수형, 1986, "한국 연안 퇴적물의 중금속 오염 역사에 관한 연구", 해양연구소 보고서 BSPE 00059-105-4.

[5] 진용현, 1999, "광양만의 해수와 퇴적물중 미량금속의 거동", 석사학위논문 한양대학교 82.

[6] 한국해양연구소, 1983, "적조 및 오염모니터링연구", 해양연구소보고서, BSPE-00048-80

-7.
[7] 한국해양연구소, 1993, "화옹지구 간척매립에 따른 어업피해 조사연구", 한국해양연구소 보고서, BSPI 00140-523-7.
[8] 한국해양연구소, 1997, "시화호의 환경변화조사 및 보전대책 수립에 관한 연구(1차년도)", 한국해양연구소 보고서, BSPN 96325-985-4.
[9] 환경부, 1994, *한국 환경연감*, 제 7호.
[10] Balzer, W. , 1982, "On the distiributon of iron and manganese at the sediment-water interface" *thermodynamics versus kinetic control,* Geochimica Cosmocim Acta, Vol. 46, 1153-1162.
[11] Buat-Menard. P., 1986, "Air to sea transfer on anthropogenic trace metals", *In P. Buat-Menard. ed.* "The role of Air-Sea exchange in geochemical cycling", *D. Reidel Publishing Co., Dordrecht.*
[12] Boyle, E. A., Huested, S. S. and Jones, S. P., 1981, "On the distridution of copper, nickel, and cadmium in the surface waters of the North Pacific Ocean", J. Geophy. Res., Vol. 86, 8048-8066.
[13] Brügmann, L., 1988, "Some peculriarities of the trace-metal distrybution in Baltic Waters and Sediments", Mar. Chem., Vol. 23, 425-440.
[14] Brügmann, L., Bernard, P. C. and van Grieken, R., 1992, "Geochemistry of suspended matter from the Baltic Sea, 2. Results of bulk trace metal analysis by AAS", Mar. Chem., Vol. 38, 303-323.
[15] Bruland, K.W. and Franks. R. P., 1983, "Mn, Ni, Cu, Zn, and Cd in the western North Atlantic", In: Trace metals in sea water, eds. by Wong, C. S., Boyle, E., Bruland, K. W., Burton J. D. and Goldberg, E. D., *Plenum Press, New York*, 395-414.
[16] Chester. R. and Bradshaw. G.F., 1991, "Source control on the distribution of particulate trace metals in the North Sea atmosphere", Mar. Pollut. Bull., Vol. 22 No. 2, 30-36.
[17] Comber, S. D. W., Gunn, A. M. and Whalley, C., 1995, "Comparison of the partitioning of trace metals ithe Humber and Mersey estuaries", Mar. Poll. Bull, Vol. 30, 851-860.
[18] Danielsson, L. G., magnusson, B. and Westerlund, S., 1978, "An improved metal extraction procedure for the determination of trace metals in sea water by atomic absorption apectrometry with electrothermal atomization", Anal. Chm. Acta, Vol. 98 47-57
[19] Emerson, S., Jacobs, L. and Tebo, B., 1983, "The behavior of trace metals in marine anoxic waters", In Trace Metals in Sea Water, eds Wong, C. S., Boyle, E., Bruland, K. W., Burton J. D. and Goldberg, E. D., 579-608. *Plenum press New York.*
[20] Kremling, K., 1983, "The behavior of Zn, Cd, Cu, Ni, Co, Fe, and Mn in anoxic Baltic waters", Mar. Chem., Vol. 13, 87-108.
[21] Kremling, K., Tokos, J. J. S., Brügmann, L. and Hansen H. P., 1997, "Variability of dissolved and particulate trace metals in the Keil and Mecklenburg Bights of the Baltic Sea 1990-1992", Mar. Pollut. Bull., Vol. 34, 112-122.
[22] Lee. S. H., Kim. E. S., Oh. J. R. and Lee. K. W., 1984, "Heavy metals in surface waters of Chinhae Bay During 1979-83", Ocean Research., Vol. 6 No. (1/2), 7-12.
[23] Lewis, B. L. and Landing W. M., 1992, "The investigation of dissolved and suspended-particulate trace metal fractionation in the Black Sea", Mar. Chem., Vol. 40, 105-141.
[24] Westerlund, S.F.G., Anderson L.G., Iverfeldt P. O. J., Rutgers M. M., van deg Loeff. and Sundby, B., 1986, "Benthic fluxes of cadmium, copper, nickel, zinc and lead in the coastal environment", Geochim. Cosmoc-him. Acta, Vol. 50, 1289-1296.