

영산강 하상퇴적물의 중금속 함량

조 영 길 · 김 주 용*

목포대학교 해양자원학과 · 전남대학교 지구환경과학부
(1998년 1월 30일 접수)

Heavy Metals in Surface Sediments of the Youngsan River Channel

Yeong-Gil Cho and Joo-Yong Kim*

Dept. of Marine Resources, Mokpo Nat'l University

*Dept. of Earth Environmental Science, Chonnam Nat'l University

(Manuscript received 30 January 1998)

Thirty-eight sediment samples collected from the Youngsan River channel were analysed for Fe, Mn, Co, Cr, Cu, Ni, Zn and Pb to recognize the extent of contamination. Results showed that a wide range of contents was apparent for every metal over the study area. These differences have been mainly related to the textural variability of sediments. Exceptions to this were found in the contents of Cu, Zn, Pb and possibly Mn. The contents of Cu, Zn, Pb and Mn were particularly higher in the sediments from the confluence of tributaries. Downstream profile of metal/Al ratios indicates that pollutant inputs from the Kwangju tributary are mainly responsible for enrichment of these metals in bed sediments of the Youngsan River.

Key words : sediment, heavy metal, contamination, enrichment, Youngsan River

1. 서 론

한반도의 서남단에 위치하고 있는 영산강은 섬진강과 분수령을 이루는 노령산맥의 용추봉에서 발원하여 대지류인 황룡강 및 지석천과 합류하면서 무안반도와 영암반도를 가로질러 서해로 유입하는 곡류하천으로, 약 3,371km²의 유역면적으로부터 연평균 2,588 × 10⁶m³의 물을 배수하는 호남 유일의 젓줄이다. 그러나 지난 수십년간 유역의 인구 증가와 급속한 산업화로 인해 오염물의 배출은 엄청나게 증가하였으며, 결국 우리나라 5대 하천 가운데 본류의 수질오염이 가장 심각한 하천으로 전락하였다(수자원공사, 1992). 예컨대, 광주시의 방류하천인 광주천이 유입되는 지점에서 생화학적 산소요구량은 15.7~28.9mg/l로 최저 수질등급인 5등급 기준값에 비해 2~3배 더 높으며, 그밖의 수질항목에 있어서도 환경기준치를 훨씬 초과하고 있다(수자원공사, 1992; 영산강환경관리청, 1995).

하천오염이 생태계 및 인간생활에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 일차적으로 물과 생물을 연구해야 할 것이다. 그러나 오염의 진행과정과 실상을 보다 정확히 파악하고 오염의 성격을 규명하기 위해서는 오염물질 자체에 대한 연구가 필요하다. 하천으로 유입되는 물질들은 궁극적으로 퇴적물의 형태로 저장되며, 그렇기 때문에 하상에 쌓인 퇴적물은 오염물질의 특성을 파악하

는 좋은 연구 대상이 될 수 있다. 오염된 퇴적물은 그 자체가 하나의 오염원이 될 수 있으며, 또 중·장기적인 오염의 양상은 물이나 생물체보다 더 오랜 시간을 대표하는 퇴적물의 기록에 의해 파악될 수 있다는 점에서 하천에 쌓인 퇴적물은 중요한 의미를 갖는다(GESAMP, 1987). 따라서, 오염양상을 총체적으로 파악하기 위해서는 하천으로 유입된 오염물질의 흔적이 집적되어진 퇴적물 연구가 필수적이며, 그러한 인식 하에 외국에서는 오래 전부터 퇴적물에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다(Salomons and Eysink, 1981; Yeats and Bowers, 1982; Prusty et al., 1994; Calmano and Förstner, 1996).

국내에서 하상의 퇴적물이나 부유물을 대상으로 오염성분을 다룬 연구는 거의 없으며, 최근에 금강에서 이루어진 Lee(1985)와 최 등(1995, 1996)의 연구는 하천내 환경변화에 따라 자체 오염원이 될 수 있는 금속부분을 화학적 존재형태별 분석을 통해 보다 정량적으로 제시함으로써 우리나라 하천 퇴적물 연구의 필요성을 부각시키고 있다. 영산강 퇴적물을 대상으로 한 연구는 아직까지 보고된 바 없으며, 다만 수질현황을 파악하기 위하여 정해진 지점으로부터 물의 정기적인 채취 및 분석이 이루어지고 있다. 본 연구는 영산강 수계에 분포하는 퇴적물에 대한 연구의 첫 단계로 본류의 하상퇴적물을 대

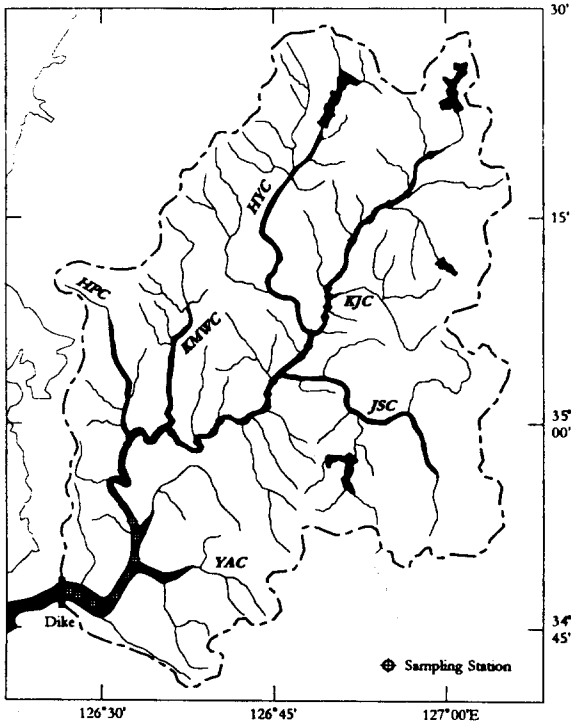


Fig. 1. Drainage basin and tributaries of the Youngsan River. Sampling stations of bed sediments () are located along the main stream. KJC:Kwangju channel, HJC:Hwangyong channel, JSC:Jiseok channel, KMWC:Komakwon channel, HPC:Hamgyong channel, YAC:Younggam channel

상으로 중금속을 분석하고 그것의 분포를 파악함으로써 분류로 유입되는 오염물질의 근원과 이로 인한 중금속의 오염양상을 밝힐 목적으로 수행되었다.

2. 재료 및 방법

연구에 사용된 시료는 영산강 수계의 중금속 농축을 파악하기 위한 연구의 일환으로 1996년 10월에 약 136km 길이의 영산강 본류하도에서 채취된 하상퇴적물로 총 38개가 분석에 선정되었다 (Fig. 1). 퇴적물은 가능한 한 수로의 중간 지점에서 채취하였으며, 수심이 깊어 도보로 접근이 어려운 지역에서는 소형 모터보트를 이용하여 La-Fond 채니기로 채취하였다. 채취된 퇴적물은 실험실에서 분석항목에 따라 분리한 후 해당 항목에 따라 분석에 필요한 처리를 추가하였다.

퇴적물의 입도분석을 위한 시료는 먼저 적당량의 원시료에 과산화수소와 묽은 염산을 차례로 넣어 유기물과 탄산염을 제거한 후 4φ(62.5μm) 표준체로 습식체질하여 사질부분과 니질부분으로 구분하였다. 사질부분의 입도는 표준체를 이용한 건식체질 방법으로 분석하였으며, 니질부분의 입도분석은 Micromeritics 사의 자동입도분석기(Sedigraph-5100)를 이용하였다. 분석결과

1φ 간격으로 입도별 백분비를 구한 후 Folk(1968)와 McBride(1971)의 방법에 따라 통계 처리하였다.

퇴적물의 화학분석은 유기탄소 및 중금속 항목에 대해서 이루어 졌으며, 분석시 원시료를 70℃ 이하의 건조로에서 말린 것을 마노유발에서 분말화하여 사용하였다. 퇴적물내 유기탄소는 일정량의 분말시료에 중크롬산칼륨(K₂Cr₂O₇)과 황산을 혼합하여 만든 산화제를 과량으로 넣어 유기탄소를 산화시키고 남은 잔여 산화제 양을 황산암모늄제2철(Fe(NH₄)₂(SO₄)₂)로 적정하는 역적정법으로 분석하였다 (Strickland and Parsons, 1972). 중금속은 약 0.2g의 분말시료에 혼합산(HF/HClO₄) 원액을 넣어 180℃ 가열판에서 분해 및 건조시킨 다음, 0.1N 질산으로 중금속을 용출하여 유도결합플라즈마 방출분광기(ICP-AES)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 중금속 함량 및 분포

영산강 본류의 38개 하상퇴적물에서 측정된 중금속 함량은 철 1.1~5.4% (평균 3.8%), 망간 231~1463ppm (755ppm), 코발트 4~16ppm (12ppm), 크롬 7~88ppm (54ppm), 구리 3~154ppm (30ppm), 니켈 4~46ppm (29ppm), 아연 22~425ppm (132ppm), 그리고 납이 21~75ppm (35ppm) 이었다 (Table 1). 제시된 각 금속의 평균함량은 세계적 평균값인 지각물질과 비교할 때 망간, 아연 및 납은 높고 크롬 및 니켈은 다소 낮은 값이다. 영산하구 퇴적물에 비해서는 망간, 아연, 납 외에 구리의 함량이 또한 높으며, 이들 중금속 함량은 연안오염 특별관리 해역으로 지정된 광양만 및 진해만 퇴적물의 함량과 비슷한 수준이다. 금강 하상퇴적물과 비교하면 분석된 중금속 모두 연구지역 퇴적물에서 함량이 높으며, 이 가운데 구리 및 아연의 함량은 금강의 약 1.8배에 해당된다 (Table 2).

시료간 금속의 함량은 모든 금속에서 비교적 크게 변화하였으며, 구리 및 아연이 각각 95%(σ_x / \bar{x})와 64%로 가장 컸고 크롬 46%, 니켈 41%, 망간 37%, 철 34%, 납 33%, 그리고 코발트가 31%의 변화를 보였다. 최대값과 최소값의 차이는 납이 3.6배로 가장 낮았고 코발트 4.0배, 철 4.9배, 망간 6.3배, 니켈 11.5배, 크롬 12.6배, 아연 19.3배, 그리고 구리가 51.3배로 가장 컸다.

Fig. 2에는 중금속의 공간적 분포가 영산강 하구언을 기점(0km)으로 도시되었다. 망간의 함량은 상류 약 66km(정점 24)에서 가장 낮고 상류 약 26km(정점 10)에서 가장 높으며, 상류 약 90km(정점 34), 38km(정점 14) 및 12km(정점 5)에서 또한 높은 함량을 나타낸다. 망간을 제외하면 나머지 금속 모두 상류 약 100km 이상의 상류에서 최저 함량을 보이며, 하류로 가면서 서로 비슷한 형태로 국지적인 증가 혹은 감소를 반복한다. 철, 코발트, 크롬 및 니켈은 광주천이 유입하는 상류 약 84km(정점 32), 지석천이 유입하는 상류 약 70km(정점 26), 함평천이 유입하는 상류 약 38km 지점에서 함량이 높으며, 영암천이 유입하는 상류 약 12km 지점에서 최대값을 보인다. 한편 구리, 아연 및 납의 함량은 광주천이 유입하는 상류 약 84km 지점에서 급격히 증가하여 본류 전체

영산강 하상퇴적물의 중금속 함량

Table 1. Analytical results of 38 bed sediments from the Youngsan River channel

STN	Distance from dike (km)	Al (%)	Fe (%)	Mn (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	C _{org} (%)	Mz (Ø)
1	0.4	7.3	3.3	539	11	58	12	30	62	21	1.37	8.2
2	2.0	10.0	5.1	693	15	86	21	44	109	31	1.52	10.6
3	5.8	7.7	3.3	616	11	55	12	28	67	22	1.43	10.7
4	9.5	10.6	5.4	1001	16	86	25	42	123	32	1.24	10.1
5	12.4	10.7	5.4	1078	16	88	25	46	121	32	1.33	10.2
6	14.5	10.4	5.4	847	16	86	25	43	126	34	1.31	10.8
7	17.7	10.2	5.2	847	16	80	27	45	141	33	1.34	9.6
8	20.5	10.1	5.0	924	16	76	30	41	149	34	1.24	9.0
9	23.1	9.5	4.7	1078	14	67	29	37	149	35	1.43	8.6
10	26.0	9.8	4.9	1463	15	66	36	37	171	34	1.52	8.4
11	29.1	10.1	4.9	1309	15	73	37	41	180	36	1.25	9.1
12	33.0	7.0	3.0	693	10	38	17	21	97	27	0.86	8.2
13	37.6	9.5	4.8	1232	15	78	17	39	91	31	0.90	9.2
14	38.1	9.3	5.2	1232	16	88	19	42	97	28	0.93	9.5
15	39.0	10.1	4.9	847	16	84	20	42	102	32	1.08	10.3
16	41.3	8.5	3.7	924	11	49	26	26	119	34	0.76	8.9
17	44.5	9.0	4.2	693	14	70	15	32	83	31	1.05	9.0
18	45.1	8.5	3.7	847	11	49	29	29	128	34	0.78	8.9
19	49.4	9.6	4.4	847	13	64	35	33	153	36	0.70	8.5
20	54.0	8.2	3.6	770	11	46	28	30	133	34	0.92	5.5
21	56.0	9.4	4.1	770	13	52	38	30	164	40	0.83	7.9
22	60.5	5.9	2.0	539	6	23	10	10	55	25	0.92	2.9
23	64.8	6.2	2.2	539	7	23	10	13	66	26	0.82	2.7
24	66.5	6.2	1.9	231	6	21	8	15	60	26	0.98	2.6
25	68.1	8.3	3.4	462	11	42	30	24	143	36	1.06	6.5
26	70.0	9.4	4.2	539	13	52	43	33	189	42	0.79	7.4
27	74.0	7.0	2.9	539	10	35	29	23	137	34	0.87	4.5
28	75.0	7.0	2.6	385	9	27	17	17	92	29	1.11	3.9
29	77.0	9.4	3.9	693	11	44	18	24	102	43	1.06	6.1
30	81.1	10.4	4.7	616	14	57	60	38	252	52	1.10	7.9
31	83.0	9.5	4.4	578	14	63	78	36	295	58	1.35	7.8
32	84.0	9.8	5.0	693	16	77	15	35	425	75	1.66	8.0
33	85.3	8.5	4.0	539	13	68	96	33	337	64	1.58	7.8
34	90.5	9.2	3.6	1078	12	42	42	25	187	45	0.73	8.1
35	99.3	5.7	1.1	308	5	7	3	5	29	26	0.61	-0.2
36	103.6	4.9	1.1	693	4	8	3	4	22	25	0.64	-0.4
37	105.1	5.0	1.3	616	5	10	4	9	26	24	0.82	-0.5
38	112.5	5.7	1.5	385	5	9	4	9	32	25	1.08	0.3

에서 가장 높으며, 하류 방향의 70km, 56km(정점 21) 및 29km(정점 11) 지점에서 국지적으로 높은 분포를 나타낸다.

3.2 중금속 함량의 공간적 변화요인

퇴적물내 중금속 함량은 일반적으로 퇴적물의 입도에 따라 영향을 받는 것으로 알려져 있으며 (Förstner and Wittman, 1981; Salomons and Förstner, 1984; Horowitz, 1991), 이러한 현상은 국내의 여러 연구에서도 보고되었다 (Lee et al., 1991; 조 등, 1994; 최 등, 1996). 연구지역에서 금속함량의 지역적 차이는 여러 요인의 영향이 복합적으로 반영된 결과일 것이나 그러한 요인들의 영향을 제대로 해석할 수 있기 위해서는 우선 입도의 영향을 파악할 필요가 있다.

Fig. 3에는 퇴적물의 평균입도와 중금속 함량과의 관계가 도시되었다. 그림에 나타난 바와 같이 분석된 금속 가운데 철, 코발트, 크롬 및 니켈은 퇴적물의 입도와 양호한 관련성을 보여 입도가 세립해짐에 따라 그 함량이 증가하는 경향을 나타내는 반면 망간, 구리, 아연 및 납에 있어서는 입도와 관련성이 미약하다. 망간은 0Ø 이하의 조립한 퇴적물과 8Ø 보다 세립한 점토입도의 일부 시료에서 함량이 높으며, 그밖에 구리, 아연 및 납은 모두 8Ø 입도의 몇 개 시료에서 특히 높은 함량을 보인다. 그림에서 구리, 아연 및 납의 함량이 같은 입도의 타 시료에 비해 높게 나타난 퇴적물은 광주천이 유입하는 상류 약 84km 지점의 상·하류에 위치한 시료들이며, 망간 또한 함평천 및 영암천이 유입하는 지역에 근접한 시료들이다. 따라서, 입도에 대한 망간, 구리, 아연

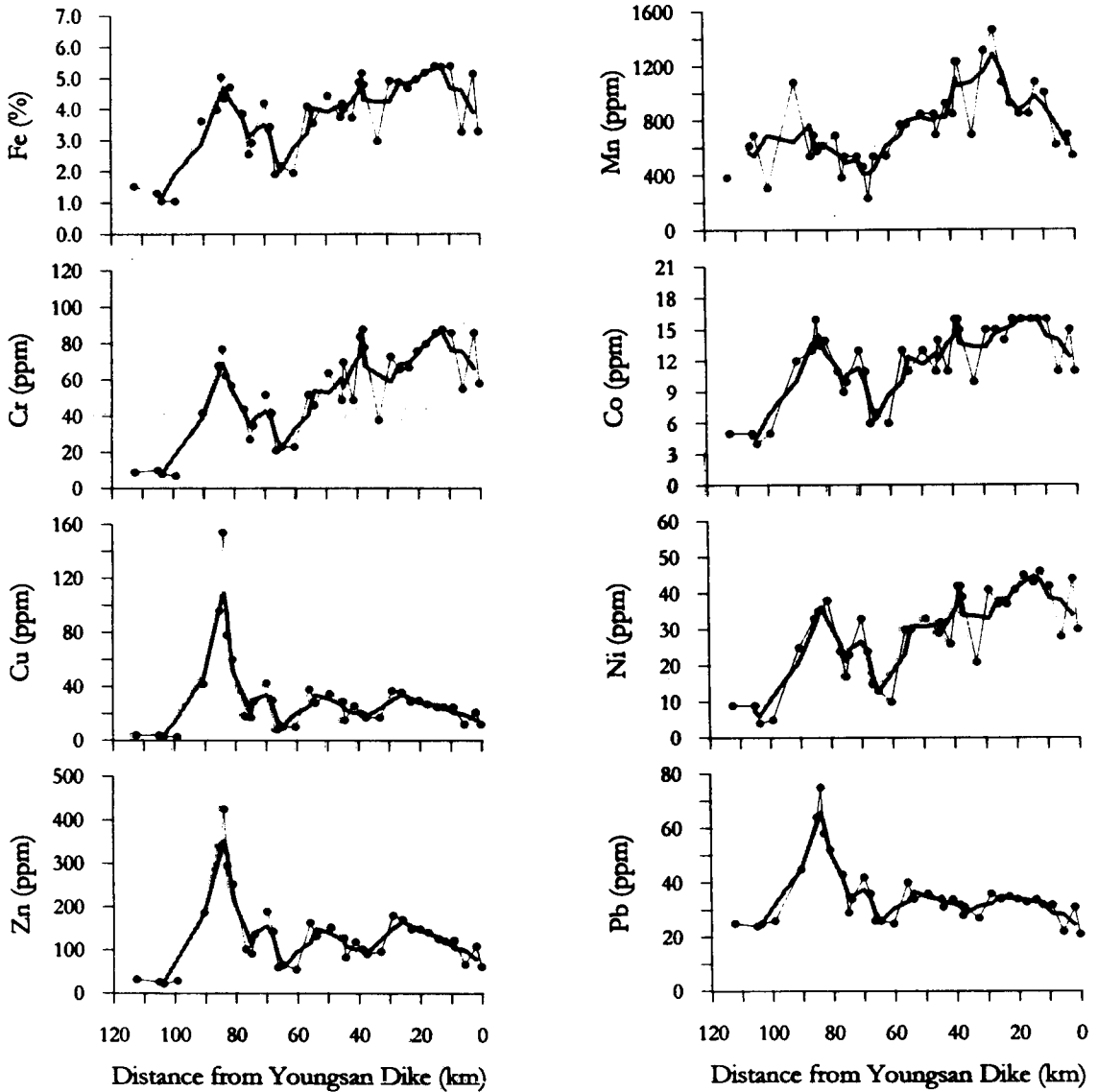


Fig. 2. Downstream variation of heavy metals in bed sediments of the Youngsan River, Thick lines in figures are running average line.

및 납의 미약한 관련성은 연구지역에서 이들 금속의 함량을 조절하는 입도 이외의 다른 요인이 크게 작용하고 있음을 지시하며, 아울러 퇴적물에 내재된 이들 금속의 근원이 지역적으로 다름을 시사한다.

한편, 연구지역 퇴적물에서 나타난 중금속 함량의 차이는 퇴적물의 입도 외에 중금속 흡착능력이 큰 지화학 성분(산화물, 유기물 등)의 차이에서도 기인할 수 있다 (Louma, 1990; Horowitz, 1991). 유기물 및 산화물에 의한 영향을 살펴보기 위하여 유기탄소(C_{org})와 각 금속 사이의 상관계수를 Table 3에 수록하였다. 표에 나타난 것처럼 유기탄소와 각 금속간의 상관관계는 그다지 뚜렷하지 않으며, 전반적으로 유기물 성분이 금속의 함량에 크게 영향을 미치지 못함을 지시한다. 금속들 사이의

상관관계는 철 또는 망간과 양호한 관계를 보이는 금속과 미약한 관계를 보이는 금속으로 구분되며 코발트, 크롬 및 니켈은 전자에, 그리고 구리, 아연 및 납은 후자에 해당된다. 퇴적물에서 철 및 망간의 함량은 여러 지화학 성분 가운데 산화물에서 매우 높으며 (Förstner and Salomons, 1981; 조 등, 1994; 최 등, 1996; Horowitz, 1991), 따라서 철 및 망간과의 밀접한 관련성은 산화물과의 친화력을 반영할 수 있다. 이러한 사실은 연구지역에서 코발트, 크롬 및 니켈이 구리, 아연 및 납과는 달리 산화물 성분에 의한 영향도 아울러 받고 있음을 지시한다.

3.3 입도 보정된 중금속의 분포경향

영산강 하상퇴적물의 중금속 함량

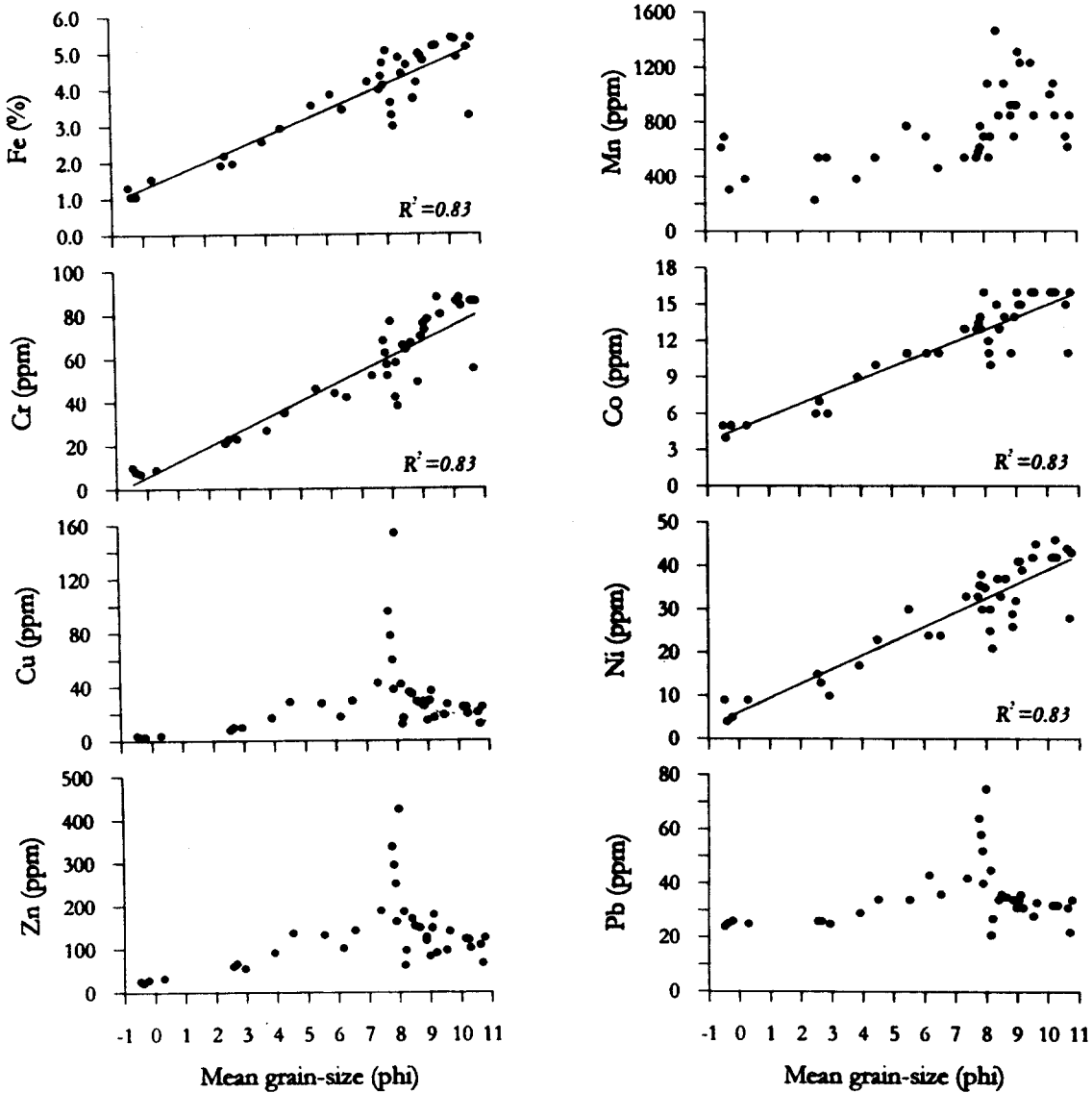


Fig. 3. Scatter diagram of the content of Fe, Mn, Co, Cr, Cu, Ni, Zn, and Pb vs. mean grain-size (Mz) in the Youngsan River sediments. Lines in figures are best fit regression line.

앞서 토의된 바와 같이 분석된 중금속 가운데 철, 코발트, 크롬 및 니켈의 함량은 퇴적물의 입도에 따라 변화하며, 연구지역내 이들 금속의 공간적 분포는 입도에 의해 크게 조절된다고 볼 수 있다. 나머지 금속에 있어서도 국지적으로 함량이 높은 일부 시료들을 제외하면 입도의 영향을 반영한다. 따라서, 이 환경에서 드러난 요인 외에 중금속의 함량 및 분포를 조절하는 또 다른 요인을 세부적으로 밝히기 위해서는 일차적으로 입도의 영향을 제거할 필요가 있다.

퇴적물내 금속함량에 대한 입도의 영향을 제거하기 위하여 보존성 원소나 입자의 표면적을 이용하는 등 지금까지 여러 방법들이 제시되었다 (Oliver, 1973; Bruland et al., 1974; Salomons and De Groot, 1978).

본 연구에서는 해당 시료의 중금속 함량을 보존성 원소인 알루미늄 함량으로 나누어줌으로써 입도의 영향을 최소화하였으며, 금속/알루미늄 함량비의 공간적 분포를 Fig. 4에 도시하였다. 그림에서 각 금속별 함량비의 공간적 분포양상은 ① 광주천(상류 약 84km), 함평천(약 38km) 및 영암천(약 12km)이 유입하는 지역에서 비교적 높은 값을 나타내는 금속, ② 증암천(상류 약 104km) 및 함평천이 유입하는 곳과 하류의 동탄 주변에서 가장 높은 값을 나타내는 금속, ③ 광주천 합류지역에서만 특히 높은 값을 나타내는 금속 등 크게 3가지 유형으로 구분된다.

첫번째 유형에는 철, 코발트, 크롬 및 니켈이 속한다. 이들 금속의 함량비는 무엇보다 지류의 유입이 있는 하

Table 2. Average metal contents of sediments from the Youngsan River channel, together with those of other areas for comparison

	Al (%)	Fe (%)	Mn (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Mz (Ø)	n
Youngsan River ¹	8.5	3.8	755	12	54	30	29	132	35	7.0	38
Youngsan Estuary ²	8.3	4.1	672	13	76	22	37	95	28	9.0	40
Keum River ³	7.4	2.8	562	11	54	17	19	72	27	4.8	21
Kwangyang Bay ⁴	8.2	3.8	909	13	67	19	33	95	35	7.9	91
Jinhae Bay ⁵	-	3.6	386	12	59	30	27	128	37	-	23
Average Crust ⁶	6.9	4.0	720	13	71	32	49	127	16	-	-

Source of data: ¹This study; ²Cho and Park(1988); ³Choi et al.(1996); ⁴unpublished data; ⁵Lee and Lee(1983); ⁶Martin and Whitfield(1983)

Table 3. Correlation coefficients for organic carbon (C_{org}) and heavy metals of Youngsan River sediments

	Fe	Mn	Co	Cr	Cu	Ni	Zn	Pb	C _{org}
Fe	1.00	0.66	0.99	0.96	0.43	0.98	0.54	0.42	0.54
Mn		1.00	0.65	0.63	0.07	0.63	0.15	0.04	0.17
Co			1.00	0.97	0.45	0.98	0.55	0.42	0.55
Cr				1.00	0.37	0.97	0.45	0.32	0.59
Cu					1.00	0.37	0.97	0.95	0.48
Ni						1.00	0.48	0.34	0.57
Zn							1.00	0.96	0.49
Pb								1.00	0.38
C _{org}									1.00

천구역과 없는 하천구역에서 증가 또는 감소하는 경향이 뚜렷하며, 아울러 각 금속의 공간적 변화양상이 매우 비슷하다 (Fig. 4). 이러한 사실은 이 환경에서 상기 금속들의 근원 및 이동양상이 서로 밀접히 관련되어 있음을 지지하며, 따라서 연구지역 퇴적물에서 국지적으로 높은 철, 코발트, 크롬 및 니켈의 함량은 영산강의 대지류인 주로 광주천, 함평천 및 영암천으로부터 유입되는 물질에 의해 영향을 받는다고 볼 수 있다.

두번째 유형에 속하는 금속은 망간으로 타 금속들과 달리 광주천 합류지역에서 상대적으로 낮은 함량비를 갖는다. 망간의 함량비가 가장 높은 곳은 상류 약 26km의 몽탄 주변으로 이 지역에는 정수로 인한 영산강 전체 폐수발생량의 68%를 차지하는 몽탄정수장이 위치해 있다 (전라남도, 1996). 망간은 화학적인 환경변화 없이도 자체축매작용에 의해 빠른 속도로 망간이온(Mn²⁺)이 망간산화물(MnO₂)로 산화되며 (Ponter et al., 1992; 최 등, 1996), 정수시 인위적으로 이물질들을 제거하기 위해 약품을 사용할 경우 망간이온은 더 효과적으로 제거될 수 있다. 따라서 이 지역 퇴적물에서 높은 망간의 함량은 정수과정에서 생긴 침적물의 배출로 인한 영향을 받았을 가능성이 있다. 상류에서 높은 망간의 함량비는 지리적인 위치로 보아 증암천을 포함한 영산강 상류의 배수분지에 입주한 정수시설 및 산업체에 의한 영향으로 추측된다.

세번째로 광주천 합류지역에서 월등히 높은 함량비를 나타내는 금속은 구리, 아연 및 납이 해당된다. 광주천은 광주시를 배수하는 대표적인 하천으로 100만명 이상

의 인구와 영산강 유역에 분포하는 전체 산업체의 44% (470개소)가 입주해 있다 (영산강환경관리청, 1995). 광주천을 통해서 배출되는 물질 중에는 생활폐기물은 물론 각종 산업폐기물이 포함되어 있을 것이며, 그러한 배출물은 결국 영산강 본류의 수질은 물론 저질에도 영향을 미칠 것이다. 본 연구에서 분석된 중금속 가운데 광주천을 통해서 유입된 물질 중에는 소위 오염형 중금속인 구리, 아연 및 납의 함량이 특히 높으며, 이러한 사실은 영산강 하상퇴적물에서 이들 중금속의 농축이 광주천으로부터 배출되는 물질에 의해서 비교적 활발히 이루어지고 있음을 지시한다.

3.4 중금속의 농축비

퇴적물에서 중금속의 오염이나 혹은 인위적인 영향을 파악하기 위해서는 각 금속의 농축비(Enrichment ratio; *E_i*)를 이용할 수 있다. 농축비 *E_i*는 금속 *i*에 대해 분석시료에서의 알루미늄 함량비를 표준물질에서의 알루미늄 함량비로 나누어준 값으로 정의된다 (조 등, 1993). 본 연구에서 표준물질은 Martin and Whitfield (1983)에 의해 제시된 지각물질의 평균함량을 사용하였으며, 계산된 각 금속별 농축비를 Fig. 5에 도시하였다.

철을 비롯한 코발트, 크롬 및 니켈은 국지적으로 약간의 차이는 있으나 시료의 대부분에서 농축비가 1 이하로 나타나 오염물질의 유입에 따른 농축이 그다지 중요하지 않음을 지시한다. 그러나 망간의 농축비는 담양 및 증암천 유역을 배수하는 영산강 상류지역(105~90km)과 함평천 합류지점에서 몽탄에 이르는 지역(38~23km)에서 비교적 높아 전체 평균에 비해 최대 1.7배의 차이를 나타낸다. 구리 및 아연은 광주시의 도심을 배수하는 하천구간(90~77km)에서 각각 3.4와 2.4에 이르는 높은 농축비를 나타내어 다른 지역의 퇴적물과 뚜렷한 대조를 이룬다. 납의 농축비는 연구지역 전체에서 1 이상의 값을 보이며, 광주천이 유입하는 상·하류의 일부 구간에서 최대 3.3으로 전체 평균의 1.8배에 달한다.

한편, 연구지역에서 어떤 금속의 보다 정확한 농축비는 이 지역에서 해당 금속의 바탕값이 제시되어 있을 때 가능하며, 그렇지 못한 경우 본 연구에서처럼 세계적 평균값인 지각물질이나 셰일(shale) 중의 함량을 바탕값으로 이용한다. 따라서 Fig. 5에 도시된 농축비는 지각물질에 대한 상대적인 농축정도를 의미하며, 그 값이 클

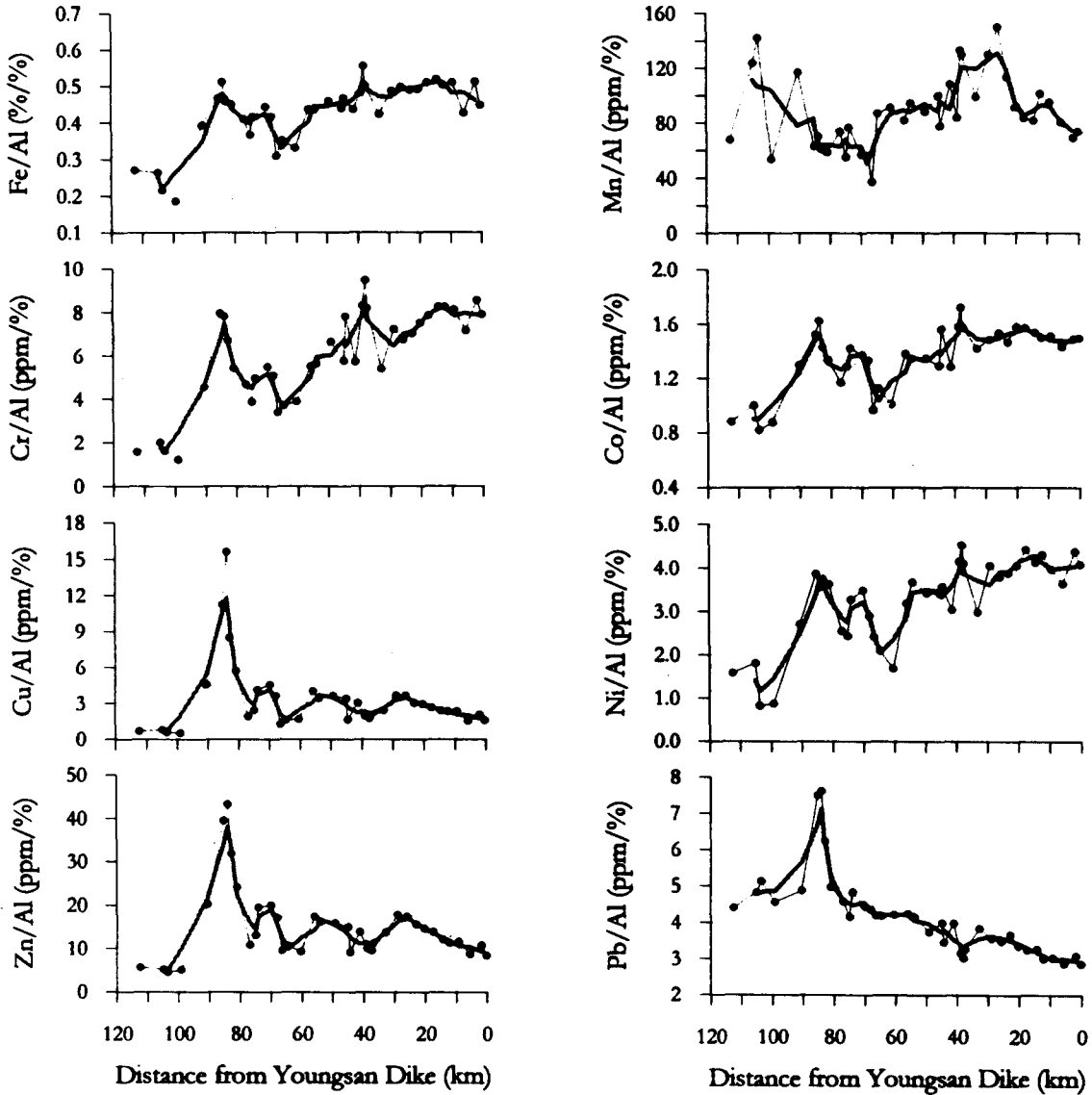


Fig. 4. Downstream variation of metal/Al ratios in bed sediments of the Youngsan River. Thick lines in figures are running average line.

경우 객관적으로 환경에 유해한 인자로 취급할 수 있을 것이다. 이렇게 볼 때 연구지역 퇴적물에서 높은 농축비를 나타낸 구리, 아연 및 납은 이 환경에서 해로운 영향을 미칠 수 있는 개별적인 인자에 해당되며, 이런 경우 3개의 인자를 하나의 인자로 압축해서 나타내는 것이 중금속으로 인한 오염양상을 종합적으로 파악하는데 더 의미가 있을 수 있다. 본 연구에서는 농축비가 높은 구리, 아연 및 납에 대해서 각 금속의 농도(C_N)를 해당 금속의 바탕농도(B_N)로 나눈 값을 합하여 오염지수 (contamination index; CI)라는 하나의 인자로 나타내었으며 (Rang et al., 1978; Prusty et al., 1994), 그것의 공간적 분포를 Fig. 6에 도시하였다.

$$CI = \sum_{N=1} (C_N/B_N)$$

Fig. 6에 나타난 바와 같이 영산강 본류구간에서 구리, 아연 및 납을 기초로한 중금속 오염지수는 1.8~12.8의 범위로 변화하며 평균 4.2의 값을 보인다. 도시된 오염지수는 3개의 중금속을 이용하였으므로 3 이상일 때 어느 정도 중금속의 농축이 일어나고 있는 것으로 볼 수 있다. 따라서 광주천이 유입하는 하천구간에서는 기준값에 비해 최대 4배 이상으로 중금속이 농축되어 있고, 영산강 상류를 비롯하여 일부 짧은 구간을 제외하면 거의 대부분의 하천구간에서 중금속의 농축이 진행되는 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

영산강 수계에 분포하는 퇴적물의 중금속 함량을 파

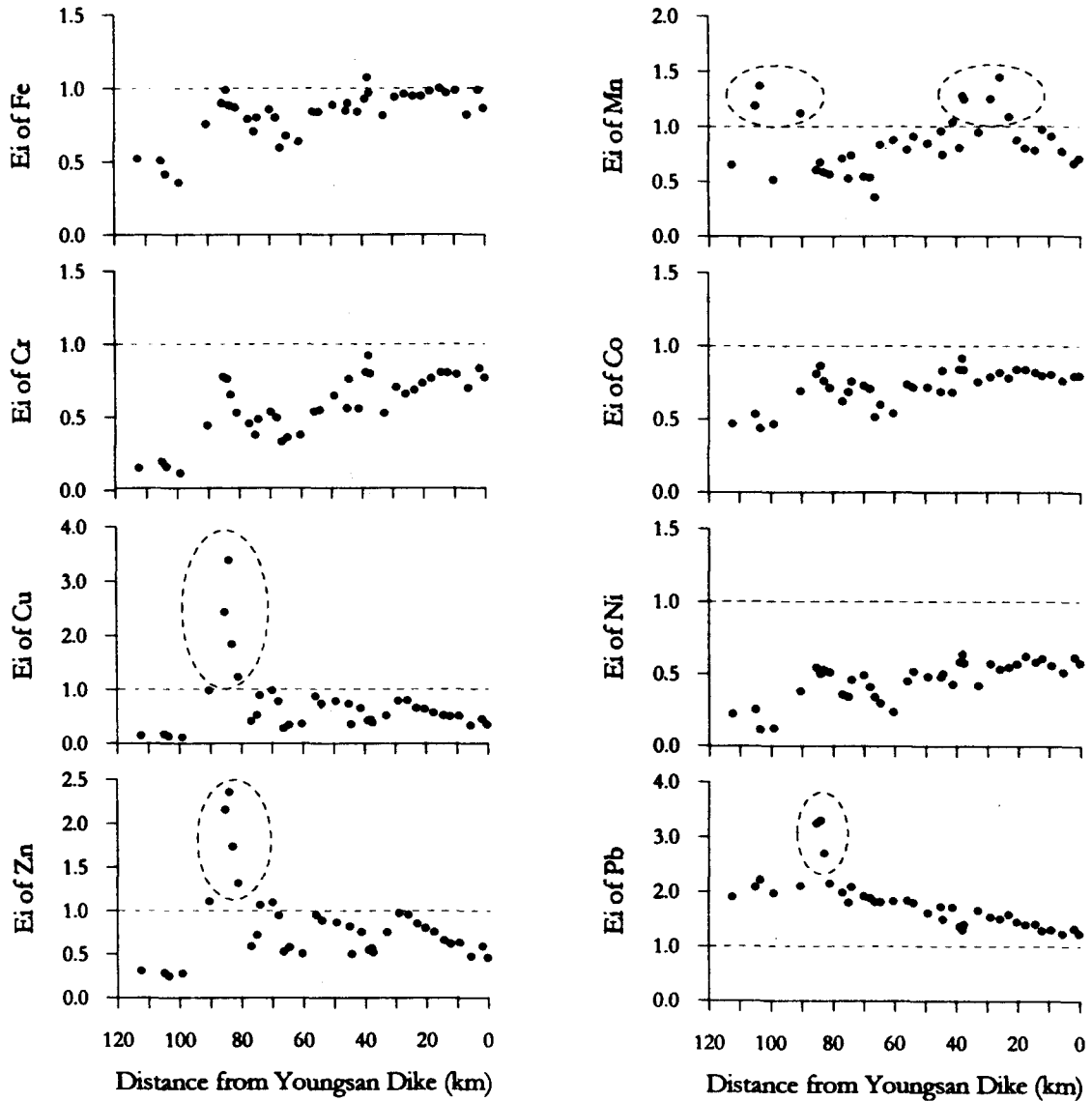


Fig. 5. the enrichment ratios of each analysed metal in the Youngsan River sediments.

악하기 위하여 본류에서 채취된 38개 하상퇴적물을 대상으로 알루미늄 외에 철, 망간, 코발트, 크롬, 구리, 니켈, 아연, 납 등 9개의 중금속을 분석하였다. 분석된 금속의 함량은 우리나라의 타 하천 및 연안 퇴적물에 비해 크롬 및 니켈은 낮은 반면 망간, 구리, 아연 및 납은 비교적 높은 값을 나타냈다. 그러나 연구지역 내에서 이들 중금속 함량은 국지적으로 현격한 차이를 보였으며, 그 중에서도 아연 및 구리가 각각 19배와 51배로 가장 컸다.

연구지역 내에서 중금속 함량은 일차적으로 퇴적물의 입도와 유기물, 산화물 등의 내적 요인의 영향을 반영하여 지역적인 차이를 나타내었으며, 이러한 요인과의 관련성은 철, 코발트, 크롬 및 니켈에서 뚜렷한 반면 망간, 구리, 아연 및 납에 있어서는 상대적으로 미약하였다.

그러나 구리, 아연 및 납을 대표적으로 분석된 중금속 함량 모두 지류가 유입되는 지역에서 증가하는 양상을 보여 지류에 의한 영향을 아울러 반영하였다.

내재적 요인인 입도의 영향을 최소화하기 위하여 중금속 함량을 알루미늄 함량으로 나눈 함량비의 공간적 분포를 분석한 결과 지류별로 함량이 높고 낮은 금속의 구별이 가능하였다. 본류로 유입되는 전체 지류 가운데 광주천과 함평천이 유입되는 곳에서 뚜렷한 증가를 나타낸 금속에는 철, 코발트, 크롬 및 니켈이 속하였으며, 증암천 및 몽탄정수장 주변에서 함량이 높은 금속은 망간이, 그리고 광주천이 유입하는 하천구간에서 월등히 높은 함량을 나타낸 금속에는 구리, 아연 및 납이 속하였다.

퇴적물내 중금속 함량에 대한 인위적인 영향을 파악

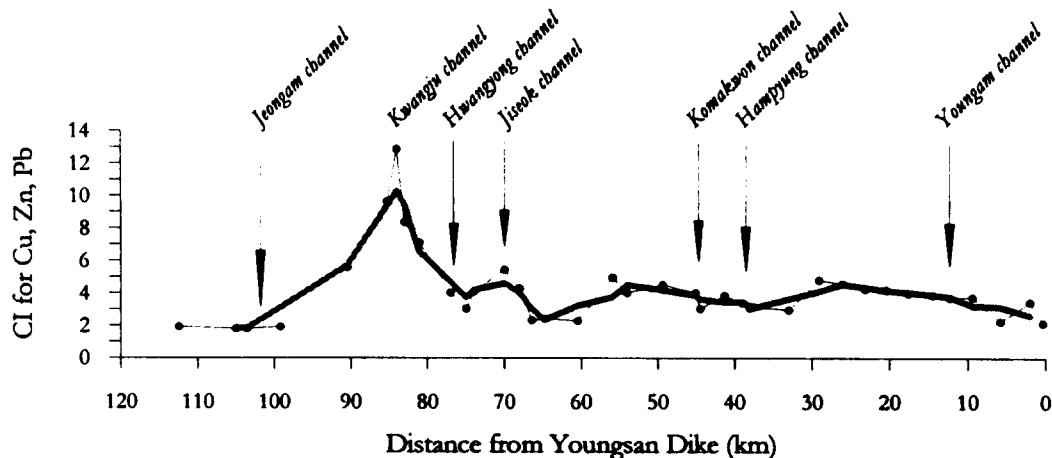


Fig. 6. Downstream variation of contamination index (CI) for Cu, Zn and Pb in bed sediments of the Youngsan River. Thick line in figure is running average line.

하기 위하여 계산된 농축비는 망간, 구리, 아연 및 납에서 높은 값을 보여 오염물질의 유입에 따라 일부 중금속의 농축이 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 망간의 농축비는 광주천보다 상류에 위치한 증암천과 하류의 몽탄정수장 주변에서 높은 반면 구리, 아연 및 납의 농축비는 광주천이 유입하는 하천구간에서 특히 높아 광주천으로부터 배출되는 물질의 영향을 직접 반영하였다. 광주천의 영향이 반영된 구리, 아연 및 납의 농축비에 기초하여 오염지수를 구한 결과 상류 일부를 제외한 본류의 대부분 지역에서 중금속의 농축이 이루어지고 있었으며 광주천이 유입하는 하천구간에서는 최대 4배 이상의 농축이 진행된 것으로 드러났다.

감사의 글

시료의 채취 및 처리에 도움을 준 전남대학교 오강호 석사와 자동업도분석기를 이용할 수 있도록 배려해 주신 광주대학교 양성렬 교수의 호의에 감사드린다. 이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었다 (과제번호 02-D-0251).

참고 문헌

수자원공사, 1992, 전국하천조사서.
 영산강환경관리청, 1995, 수질오염원현황.
 전라남도, 1996, 영산강 수질개선 종합대책 수립에 관한 연구.
 조영길, 박경양, 1988, 영산하구 표층퇴적물의 중금속 함량 및 분포, 한국환경과학회지, 7권(인쇄중).
 조영길, 이창복, 박용안, 김대철, 강효진, 1993, 황해 동부 대륙붕과 한반도 서해안 표층퇴적물의 지구화학학적 특성, 한국제4기학회지, 7, 69~92.
 조영길, 이창복, 최만식, 1994, 남해 대륙붕 표층퇴적물 중 중금속 원소의 분포 특성, 한국해양학회지, 29, 338~356.
 최만식, 이석훈, 이창복, 조영길, 1996, 금강 퇴적물 중 미량금속의 분포 특성, 한국제4기학회지, 10,

27~52.
 최만식, 이창복, 조영길, 1995, 금강 부유물질중 미량금속의 함량과 이동, 한국해양학회지, 30, 371~381.
 Bruland, K.W., K.K. Bertine, M. Koide and E.D. Goldberg, 1974, History of metal pollution in Southern California coastal zone, Environ. Sci. Technol., 8, 425~431.
 Calmano, W. and U. Förstner, 1996, Sediments and Toxic Substances : Environmental Effects and Ecotoxicity, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 335pp.
 Folk, R.L., 1968, Petrology of Sedimentary Rock, Hemphill's, Austin, Texas, 170pp.
 Förstner, U. and W. Salomons, 1981, Trace metal analysis on polluted sediments, Environ. Sci. Technol. Lett., 1, 494~517.
 Förstner, U. and G.T.W. Wittmann, 1981, Metal Pollution in the Aquatic Environment, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 486pp.
 GESAMP, 1987, Land/sea Boundary Flux of Contaminants from Rivers, Paris: Unesco.
 Horowitz, A.J., 1991, A Primer on Sediment-Trace Element Chemistry, Lewis Publishers, Inc., Chelsea(MI), 136pp.
 Lee, C.B., 1985, Sedimentary processes of fine sediments and the behaviour of associated metals in the Keum Estuary, Korea. In: Marine and Estuarine Geochemistry, edited by A.C. Sigleo and A. Hattori, Lewis Publishers, Inc., Chelsea(MI), pp. 209~225.
 Lee, C.B., Y.A. Park, H.J. Kang and D.C. Kim, 1991, Geochemical characteristics of the continental shelf and slope sediments off the

- southeastern coast of Korea, Korean J. Quat. Res., 5, 15~31.
- Lee, S.H. and K.W. Lee, 1983, Heavy metals in sediments from Jinhae Bay, Korea, J. Oceanol. Soc. Korea, 18, 49~54.
- Luoma, S.N., 1990, Processes affecting metal concentrations in estuarine and coastal marine environments. In: Heavy Metals in the Marine Environment, edited by R.W. Furness and P. S. Rainbow, CRC Press, INC., Boca Raton, Florida, pp. 51~66.
- Martin, J.M. and M. Whitfield, 1983, The significance of river input of chemical elements to the ocean. In: Trace Metals in Sea Water, edited by C.S. Wang, E. Boyle, K.W. Bruland, J.D. Burton and E.D. Goldberg, Plenum, New York, pp. 265~298.
- McBride, E.F., 1971, Mathematical treatment of size distribution data. In: Procedures in Sedimentary Petrology, edited by R.E. Carver, John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 109~127.
- Oliver, B.G., 1973, Heavy metal levels of Ottawa and Rideau River sediment, Environ. Sci. Technol., 7, 135~137.
- Ponter, C., J. Ingrid and K. Bostrom, 1992, Geochemistry of manganese in the Kalix River, northern Sweden, Geochim. Cosmochim. Acta., 56, 1485~1494.
- Prusty, B.G., K.C. Sahu and G. Godgul, 1994, Metal contamination due to mining activities at the Zawar zinc mine, Rajasthan, India, 1. Contamination of stream sediments, Chem. Geol., 112, 275~291.
- Rang, M.C., C.E. Kleijn and C.J. Schouten, 1978, Mapping of soil pollution by application of classical geomorphological and pedological field techniques. In: International Geomorphology, Part 1, edited by V. Gardiner, Wiley, New York, N.Y., pp. 1029~1044.
- Salomons, W. and A.J. De Groot, 1978, Pollution history of trace metals in sediments, as affected by the Rhine River. In: Environmental Biogeochemistry and Geomicrobiology, edited by W.E. Krumbein, vol. 1, Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan, pp. 149~162.
- Salomons, W. and U. Förstner, 1984, Metals in the Hydrocycle, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 349pp.
- Salomons, W. and W.D. Eysink, 1981, Pathways of mud and particulate trace metals from rivers to the southern North Sea, Int. Assoc. Sediment Spec. Pap., 5, 429~450.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons, 1972, A Practical Handbook of Seawater Analysis, Fish. Res. Board of Canada, 310pp.
- Yeats, P.A. and J.M. Bowers, 1982, Discharge of metals from the St. Lawrence river, Can. J. Earth Sci., 19, 982~992.