대한지하수환경학회 · 한국토양환경학회
공동 심포지엄 및 추계학술대회 논문집
1998년 11월 20일 서울대학교 교수회관

안양천 하천수 및 퇴적물의 지구화학 예비조사와 환경적 의미

Geochemical investigation of stream sediment and water of the Anyang river: Environmental implication

이상훈* · 문지원**

*가톨릭대학교 이공대학 환경학과
**연세대학교 이과대학 지구시스템과학과

요 약 문

The Anyang river drains a highly polluted industrial area and enters the lower part of Han river. In this preliminary study for the comprehensive understanding of geochemical behaviour of elements in the stream sediments and its implications on the river chemistry and ecology, major and trace elements in stream sediments, suspended solids and stream water were analysed to look into elemental enrichments and elemental behaviour with distance from upper part of the stream. Chemical analyses of the stream sediments show enrichements of heavy metals including Cr, Zn, Ni, Co between 10 to 100 times. Other trace elements, Cd, Pb and As are also enriched between several to 10 times, based on relative ratio with Al in fresh rock. Chemical analyses of the sediments, suspended solids and water show indications of anthroporgenic impact for the heavy metal accumulation. It was nortworth Hg is detected between 2 and 4 ppb in the water.

주제어 : 하천퇴적물, 중금속, 지구화학, 하천수질

I. 서론

안양천은 안양시, 의왕시 등의 공업밀집지역을 통과하면서 이 공장들로부터 나오는 각종 폐수와 가정오수들을 받아들여 한강하류로 이동시킨다. 산업지역 및 인구밀집지역을 통과하며 이러한 인간활동의 영향으로 인한 오염정도가 상당히 심한 실정으로 1996년도 측정결과에 의하면 BOD 18.3 mg/l 으로 농업용수 기준에도 못 미치고있다(환경부. 1997)[1].

하천수는 유기물뿐 아니라 중금속을 포함한 각종 무기물이 존재하며 이러한 중금속 및 무기물들은 유기물들과 함께 물에 녹아들어가 수질을 변화시키며 일부는 바닥에 가라앉아 퇴적되거나 기존의 퇴적물에 유입 또는 흡착된다. 바닥퇴적물은 외부에서 수계로 유입된 각

종 유·무기물질들로 이루어진 오염물질들의 저장역할을 하면서 동적인 하천수 환경에서의 pH, Eh 등을 포함한 지구화학적 환경변화 또는 홍수 등의 물리적 변화를 통해 오염물질들을 하천수로 방출하여 수질의 급격한 변화를 야기시키며 이러한 과정의 반복을 통하여 오염물질들을 하류로 이동시키는 역할을 한다. 따라서 바닥퇴적물에 분포한 원소들의 지구화학적 분포특성과 이동성 및 유입속도 등에 관한 이해는 하천수계의 오염잠재성과 하류로의 오염부하 등에 관한 정보를 제공할 것으로 생각된다.

본 연구는 안양천 바닥퇴적물에 존재하는 중금속의 지구화학적 특성과 수계환경에 미치는 영향을 알아보기 위한 연구의 예비단계로서 1) 하천바닥 퇴적물중의 중금속 분포특성, 2) 인위적 및 자연기원 비율 파악과 3) 중금속의 분포특성과 광물조성간의 상관관계를 파악함으로서 바닥퇴적물이 하천수에 미치는 잠재적 오염영향을 파악하고자한다.

Ⅱ. 시험방법

안양천의 상류지역인 의왕시로부터 시작하여 2-3Km거리 간격으로 하류지역인 서울시 목동 인근지역에 이르기까지 총 8개지역에서 하천수와 바닥퇴적물 시료를 채취하였다. 하천수는 양이온 분석용과 음이온분석용을 구분하여 250ml 폴리에틸렌 병에 담았다. pH는 현장에서 직접 측정하였으며 시료채취 기간이 1일로서 짧았으므로 수질시료들은 실험실로 당일 채취 후 바로 냉장 보관하여 실험실로 옮긴 후 0.45μ 필터를 이용하여 거른 후 양이온 분석용 시료는 농질산을 가하여 pH<2 로 조정, 분석시 까지 냉장 보관하였다. 음이온 분석은 시료 채취 후 24 시간 이내에 이온크로마토그래피를 이용하여 분석하였다. 양이온은 ICP-AES 및 MS 방법을 이용하여 고려대학교 전략광물연구소에 시행하였다.

퇴적물시료는 스테인리스 삽을 이용하여 표면에서 30cm이내의 시료를 3-4곳의 다른 장소를 선정, 채취하였다. 각 지점마다 1Kg 정도 채취된 시료는 비닐 백에 밀봉하여 옮겨졌으며 자연건조를 통하여 수분을 제거한 후 105 °C 오븐에서 완전 건조하였다. 건조된 시료들은 4분법을 이용하여 대표 시료를 선별하여 아게이트몰탈을 이용 200 메쉬 이하의 크기로 분쇄하여 영국 셰필드대학 환경분석센터의 Energy-dispersive XRF를 이용, 주원소 및 미량원소의 분석을 실시하였다. 또한 퇴적물과 함께 여과지를 통하여 얻어진 부유물질 시료에 대하여 농질산을 이용하여 용출액에서 의 중금속 농도들을 ICP-MS를 통하여 분석하였다.

하상퇴적물의 광물학적 특성과 특성에 따른 지구화학적 영향을 알아보기 위하여 침강법을 이용하여 입도분석을 하였으며 모든 시료에 대하여 XRD를 이용하여 정량·정성적인 광물분석을 하였으며 일부시료에 대하여는 점토크기 입자들에 대하여 XRD분석을 실시하였다.

Ⅲ. 결과 및 토의

1. 하천수 화학

표1은 안양천 하천수의 화학분석 결과를 보인다. 세계 평균치와 비교시 Na, Mg, Ca, K 등을 포함하는 알칼리 및 알칼리토금속의 함량이 높음을 보여준다. 이는 안양천 주변에 발달한 화학암질암류의 영향 특성으로 생각된다. 중금속의 경우 중금속을 포함한 미량원소들의 경우 대부분 평균보다 높은 함량을 보이는데 As의 경우 0.86-4.00 (1.7ug/L, 세계평균),

Ni 1.01-6.56 (2.2ug/L), Cr 0.30-6.48 (1.0ug/L) 등의 비교적 높은 함량을 보인다. 특히 Mn의 경우 31.8-300.8로 8.2ug/L에 비하여 매우 높은 농도를 보이고 있다. 반면 Fe, Al, Cu, Pb, Zn등의 경우는 비슷하거나 낮은 농도를 보인다(Martin & Meybeck, 1979)[2].

상류에서 하류로 가면서의 하천수내 중금속 농도는 시료채취 지점중 가장 상류를 제외하고는 큰 특징적 변화를 보이지 않으며 비교적 일정한 농도를 보인다.

2. 퇴적물화학

Al은 정상 pH범위에서 그 용해도가 매우 낮아 원소들의 용해도 및 이동성을 상대적으로 평가하는 데에 사용된다. 부화지수(Enrichment Factor, EF)는 특정원소의 퇴적물내 Al의 비와 풍화되지 않은 주변암석 또는 토양에서의 Al과의 비를 비교함으로써 그 물질의 외부기원 비율을 추정할 수 있는 방법이다. 퇴적물중의 중금속들은 표1에서 보는 바와 같이 대부분의 물질들이 부화되어있음을 알 수 있다. 거리에 따른 변화특성을 살펴보면 퇴적물내의 중금속 농도들은 하류가 상류보다 약간의 증가변화를 보인다. 부화지수를 산출한 결과 대부분의 중금속들은 자연상태보다 수배에서 수십배가량 부화되어있음을 보여주며 부화지수 역시 하류로 가면서 증가한다(표1).

퇴적물에 분포하는 대부분의 중금속들은 원소간 높은 상관관계를 보여 이들 물질의 수반관계를 보여준다. 이들은 총탄소와 점토광물 함량과 매우 높은 상관관계를 보인다(As, 0.92; Cr, 0.96; Co, 0.83; Ni, 0.89; Cu, 0.96; Zn, 0.87; Pb, 0.95). 안양천에서 측정된 총탄소양은 화강암과 편마암 등으로 구성된 주변 암석 특성상 대부분이 가정오수로부터 기인하는 유기탄소로 추정된다. 총탄소와 퇴적물중 점토광물의 함량 역시 매우 높은 상관관계(r=0.996)를 보임으로 안양천 퇴적물의 중금속들은 대부분 유기물들과 함께 주로 점토성분에 위치함을 알 수 있다.

3. 부유물질

부유물질에서 추출된 중금속의 양은 하천퇴적물에 비하여 상대적으로 매우 낮았으며 하천수중의 중금속 농도에 비하여는 전반적으로 높은 농도를 보인다. 수계전체에 분포하는 중금속을 하천수, 부유물질 및 퇴적물의 3계로 볼 때 중금속들은 평균 99% 이상이 퇴적물에 분포한다. 부유물질과 하천수에 분포하는 중금속들의 양이 상대적으로 작아 비교에는 어려움이 있으나 전반적으로 상류에서 하류로 가면서 부유물질내의 분포비율이 상대적으로 높아가며 퇴적물내의 분포가 낮아지는 경향을 보인다. 상류로부터의 거리에 따른 부유물질중의 중금속원소 농도변화 역시 비교적 일정하며 Fe와 Mn의 농도만이 하류로 가면서 점차 증가하는 특성을 보인다.

4. 광물특성

하천퇴적물의 입도별 구성을 보면 주로 모래크기 입자들로 구성되어있음을 보이며 점토의 비율은 4, 8번 지점을 제외하고는 0.8-5.2% 정도의 함량을 보인다. 퇴적물 전체시료의 X-ray 회절분석은 석영(27.3-62.6%), 장석류(6.2-14.9%), 운모류(3.4-25.8%) 등으로 구성되며 이는 하천 주변 암석의 특징에 영향을 받는 것으로 보인다. 점토크기 입자들의 회절분석에서는 일라이트와 카올리나이트로 구성됨을 보인다.

V. 결론

이번 예비조사결과 안양천의 바닥퇴적물에 분포하는 중금속들은 자연상태에 비하여 부화정도가 크며 중금속의 농도와 부화지수는 상류에서 하류로 내려가면서 증가한다. 이는 인위적인 요인에 의한 중금속 인입을 시사하는 것으로 생각되며 인입량은 하류로 점차 이동농집됨을 보인다. 또한 하류로 가면서 부유물질중의 Mn, Fe, Pb 농도가 증가하며 하천수와 퇴적물의 Mn, Fe 농도와의 상대적 비율도 증가하는 특성을 보인다. 이는 안양천 수질이 하류로 가면서 BOD 농도가 증가하는 것에 비추어보아 불용성 Fe, Mn 산화물의 양이 증가함을 시사하는 것으로 생각된다(Forstner and Wittmann, 1983)[3]. 대부분이 유기기원으로 추정되는 총탄소함량은 점토성분과 매우 높은 상관관계를 보이며 대부분의 중금속이 유기물과 점토광물에 수반됨을 보인다.

표1 위치

참 고 문 헌

1) 환경부, 환경백서, 환경부, 서울, pp. 686 (1997).
2) Martin, J-M. & Meyback, M., "elemental mass-balance of material carried by major world rivers," Mar. Chem., 7, pp173-206 (1979).
3) Forstner, U. & Wittmann, G.T.W., Metal pollution in the aquatic environment, 2nd Edition, Springer-Verlag, Berlin (1983).

Table 1. Chemical Compositions of stream sediments, suspended solids and stream waters from the Anyang river

	Cr	Zn	Cd	Pb	Ni	Fe	Co	Mn	Cu	As	Se	Hg
Asd1	46	101	0.2	37	12	745	9	19	22	1.3	0.0	0
2	58	165	0.0	50	20	944	8	21	54	3.8	0.2	0
3	123	330	0.7	75	37	2238	50	47	99	8.2	0.6	0
4	121	546	1.2	98	44	2871	54	63	138	9.6	0.3	0
5	38	180	0.5	34	17	689	4	17	21	0.0	0.1	0
6	44	240	1.4	38	19	605	4	17	33	1.3	0.0	0
7	47	386	1.7	37	31	601	5	14	48	0.3	0.0	0
8	177	798	1.2	199	65	2828	43	66	224	11.1	0.3	0
Ass1	0	9	0	2	0	690	18	10	5	<5	<5	<5
2	103	765	0	0	1	4111	0	68	25	<5	<5	<5
3	4	24	0	1	1	1831	0	23	0	<5	<5	<5
4	7	83	0	0	0	2991	0	97	11	<5	<5	<5
5	2	98	0	8	0	3121	18	364	6	<5	<5	<5
6	7	102	0	4	5	2241	18	90	18	<5	<5	<5
7	12	153	2	16	4	4731	17	227	29	<5	<5	<5
8	13	162	2	17	0	5341	18	1020	35	<5	<5	<5
Asw1	0.3	4.6	0.2	ND	1.0	18	-	32	1.4	0.9	0.3	4.1
2	4.0	35.9	0.2	ND	6.6	11	-	247	2.2	3.3	0.4	2.7
3	1.1	5.4	0.2	ND	1.8	2	-	122	1.1	1.8	0.3	2.4
4	1.9	13.8	0.2	0.20	2.9	4	-	216	2.8	3.1	0.6	2.2
5	3.5	8.1	0.2	0.11	3.7	2	-	134	1.8	4.0	0.9	2.2
6	2.6	6.3	0.2	0.02	3.7	12	-	174	1.1	2.7	1.1	2.2
7	1.9	3.9	0.2	ND	3.1	4	-	301	0.1	3.1	0.8	2.2
8	6.5	8.1	ND	ND	4.8	2	-	48	1.3	3.0	1.3	2.2
EF1	16.2	3.5	1.4	2.6	33.3	1.9	13.2	0.05	3.0	1.2	0.0	-
2	19.9	5.7	0.0	3.4	53.7	2.4	10.6	0.06	7.4	3.6	5.6	-
3	22.0	6.5	2.7	2.9	57.1	3.2	38.9	0.07	7.8	7.7	16.8	-
4	21.5	9.7	4.3	3.5	61.8	3.7	38.3	0.09	9.8	9.0	8.4	-
5	14.6	7.0	3.9	2.7	52.3	1.9	6.2	0.05	3.3	0.0	2.8	-
6	17.4	9.5	11.0	3.0	59.5	1.7	5.5	0.05	5.3	1.2	0.0	-
7	16.6	13.6	11.9	2.6	86.2	1.5	6.2	0.04	6.7	0.3	0.0	-
8	33.9	15.3	4.6	7.6	100.3	3.9	33.1	0.10	17.2	10.4	8.4	-

Asd: 퇴적물(단위: mg/L), Ass: 부유물질(단위: ug/L), Asw: 하천수(단위: ug/L), EF: 부화지수{(m/Al)in sediment}/{(m/Al) in fresh rock}, ND: Not detected