

탄천의 하상퇴적물과 하천수내 주요 용존 이온과 중금속의 수리지구화학적 특성과 오염

이성은^{1*} · 김규한¹ · 이진수² · 전효택²

¹이화여자대학교 과학교육과, ²서울대학교 지구환경시스템공학부

Hydrogeochemical Characteristics and Contamination of Dissolved Major Ions and Heavy Metals in Waters and Sediments from the Tancheon River

Sung-Eun Lee^{1*}, Kyu-Han Kim¹, Jin-Soo Lee² and Hyo-Taek Chon²

¹Department of Science Education, Ewha Womans University, Seoul 12-750, Korea

²School of Civil, Urban and Geosystem Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

In order to investigate the hydrogeochemical characteristics and contamination of dissolved major ions and heavy metals in the Tancheon River, river water and sediment samples were collected at 18 locations, along a distance of 69 km, between Yongin-si in Kyunggi-do and Samsung-dong in Seoul on October in 2000 and April in 2001. After appropriate sample preparation, waters were analyzed for the dissolved constituents and sediments. The pH values of river waters were in the range of 7.0 to 9.3 and could be plotted in the area of surface environment. The level of Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- and HCO_3^- in the Tancheon River were higher than those in world average river water. Most of dissolved constituents in the river waters increased toward downstream from upstream. In particular, high concentrations of Zn^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} and NO_3^- were found near densely residential areas and the Sungnam waste water treatment plant. The relative ion enrichment was caused by the inflow of local domestic and industrial sewages. Also, Ca^{2+} and HCO_3^- concentrations were enriched in the middle of the Tancheon River due to the dissolution of cements. This indicates that the apartment complexes were built on a large scale in the upriver since these ten years and large amounts of construction materials such as cements were flowed into the Tancheon River. Concentrations of heavy metals (Mn, Cd, Cu, Pb, Zn) in sediments from the Tancheon River exceeded the lower limit of tolerance level in bottom sediment established by the Ontario Ministry of the Environment (OME) of Canada. In particular, these metals were highly elevated in sediment (TSM-12) collected from near the Sungnam waste water treatment plant. Heavy metals were higher enriched in sediments collected from dry period rather than wet period.

Key words : the Tancheon River, heavy metal, domestic sewage, the Sungnam waste water treatment plant

한강으로 연결되는 여러 지천들 중의 하나인 탄천을 대상으로 용존 주성분 이온들과 중금속 원소들의 잠재적 오염 정도를 평가하기 위하여 2000년 10월과 2001년 4월 총 두 차례에 걸쳐 경기도 용인시 용인군 구성면에서 발원하여 경기도 성남시를 거쳐 서울시 강남구 삼성동 인근의 한강 본류와 합쳐지는 탄천에서 하천수와 하상퇴적물 시료를 채취하였다. 탄천 하천수의 pH 값은 7.0~9.3으로 약알칼리성을 보였다. 탄천 하천수내 주요 용존 이온중 Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , HCO_3^- 는 세계 하천 평균치보다 높은 함량을 보였다. 탄천 상류에서 하류방향으로 갈수록 대부분의 용존 이온들의 함량이 증가하며, 특히 Zn^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- 등의 함량은 성남시 분당구와 수정구의 인구밀집 지역, 공업단지지역 및 성남 위생하수처리장 지점에서 높은 함량을 나타냈는데 이는 생활하수 및 공업폐수 등의 유입의 영향으로 해석된다. 또한 Ca^{2+} 와 HCO_3^- 의 함량은 용존된 시멘트의 함량으로 인해서 탄천의 중심부에서 부화되어 나타났다. 이는 지난 10년간 대단위 신도시 아파트 단지가 건설되어 건설 자재로 사용된 시멘트의 하천 유입에 따른 하천수의 용해 반응에 기인한 것으로 판단된다. 중금속 함량을 캐나다 OME에서 제시한 오염문턱 수준과 비교할 때, Fe를 제외한 Mn, Cd, Cu, Pb, Zn 등의 중금속 평균함량이 이 기준치를 초과하고 있으며, 특히 TSM-12 지

*Corresponding author: 002ESE05@ewha.ac.kr

점(성남 위생하수처리장 지점)을 전후로 채취한 시료들내 이들 함량이 매우 높게 나타났는데 이는 하천수의 화학분석 결과와 잘 일치한다. 하상퇴적물의 중금속 함량의 계절적 변화는 우기보다 건기에서 채취한 시료에서 높게 나타났다.

주요어 : 탄천, 중금속, 생활하수, 성남 위생하수처리장

1. 서 론

탄천은 한강본류로 흘러들어가는 여러 지류들 중의 하나로 경기도 용인시 용인군 구성면에서 발원하여 성남을 거쳐 한강에 합류하는 전구간이 69.2 km인 하천이다. 많은 개발 계획에 따라 수문학적으로 큰 변화 과정을 겪어 왔으며, 최근 들어 성남시 분당 신시가지 내의 우·오수관 오점에 따른 오수의 탄천 유입에 대한 문제, 용인시 수지 죽전지구 일대의 무분별한 택지 개발로 인한 부작용과 인근의 산업단지 등의 폐수로 인해 탄천 하천수의 수질오염이 집중하고 있으며 생태계 파괴 등의 중대한 문제점을 가져오고 있다. 실제로 인구밀집지역인 탄천 상류지역의 BOD가 2000년에 최고 32.2 ppm으로 조사되어 택지개발이전에 비해 무려 6배 정도가 악화된 수치를 나타내고 있다(www.segyetimes.co.kr).

지표수의 수질을 개선하기 위한 지속적인 연구가 외국에서는 이미 오래전부터 계속 진행되어 왔다(Livingstone, 1963; Berner and Berner, 1987). 최근 들어 국내에서도 하천수와 하상퇴적물의 중요성이 인식되면서 수질 개선과 보전을 위한 연구가 수행되고 있으며(서혜영과 김규한, 1997; 김주용 등, 1999; 이현구 등, 1999; 문지원 등, 2000; 김규한과 심은숙, 2001; 오창환 등, 2001), 통계적 방법과 기술이 발전되면서 환경지구화학적 조사를 위한 분석 기술이나 시료채취 방법이 개선되기는 하였으나 아직도 많은 문제점이 있는 것이 현실이다(이현구 등, 1999).

하천으로 유입되는 산업폐수와 생활오수에는 다량의 중금속 및 유기오염물질 등이 함유되어 있고, 이들 오염물질(중금속)은 주변 하천수 및 하상퇴적물을 심하게 오염시킨다. 특히 하상퇴적물은 하천수에 비해 오염물질의 시간적 변화가 적어 외부에서 유입된 오염물질들의 저장역할을 하므로 하천수 수질의 지속적인 환경영향을 평가하는데 보다 적절한 지구화학적 매개체로 알려져 있다(Thornton, 1983).

본 연구에서는 탄천 하천수 및 퇴적물 주요 이온종을 중심으로 지구화학적 특성과 오염 잠재성을 밝히고, 이들 오염의 특성을 파악하고자 하였다. 또한 계절

적 함량 변화를 알아보기 위하여 우기(10월)와 건기(4월) 두 차례에 걸쳐 대상 지역의 시료들을 분석하였다. 특히 본 연구를 통해 얻어진 지구화학적 정보들은 오염 하천의 정화를 위한 효과적인 하천오염관리를 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 탄천의 지질과 특성

한강은 지리적으로 한반도 중부(126°34'~129°E, 36°28'36"~38°54'N)에 위치하고 있고 남동에서 북서로 흐르는 하천이다. 총연장 5,400 km로 남한 최대의 강인 한강 유역은 한강 본류, 북한강 및 남한강 유역의 3개의 유역으로 구분되며, 연구대상지역인 탄천은 한강 본류로 유입되는 지류이다. 즉 탄천은 용인시 구성면에서 발원하여 북서류하면서 강남구 삼성동 지역에서 한강 본류와 합류하는 하천이다(Fig. 1). 이 지역의 주변 지질은 대체로 선캄브리아기의 편마암류가 분포하고 있으며 이들을 모두 부정합으로 덮고 있는 제4기의 충적층이 분포하고 있다(홍승호 등, 1982). 이 충적층의 퇴적물은 주로 쇄설성 퇴적 물질로서 점토, 실트, 모래 및 자갈 등으로 구성되어 있다. 이런 미고결 퇴적물의 운반, 퇴적 작용은 수계의 지형 조건과 강수량의 영향을 받지만 이 퇴적물을 구성하고 있는 물질은 주위 암석인 모암에 근원을 두고 있어 그 공급원의 암상에 따라 지배를 받는다.

일반적으로 기반암이 화강암질과 같은 경암인 경우나 투수율이 높을 때에는 1차적으로 저밀도의 수계가 형성되고, 기반암이 셰일과 같은 연암이거나 투수율이 낮으면 고밀도의 수계가 발달한다(서혜영과 김규한, 1997). 따라서 탄천 수계 분지는 선캄브리아기의 변성암 지대이므로 저밀도의 수계가 발달되었다.

한강 유역에 발달되어 있는 충적층은 인근의 오염된 하천이나 취락지로부터 발생된 각종 형태의 오폐수의 영향으로 생활 용수로 부적합한 지역이 많다. 또한 이들의 퇴적물은 농산물과 지하수 개발에 크게 영향을 미치며, 서울 지역에서는 하상 퇴적물이 유용한 광물 자원과 건설용 골재로서도 이용되고 있다(환경청, 1983).

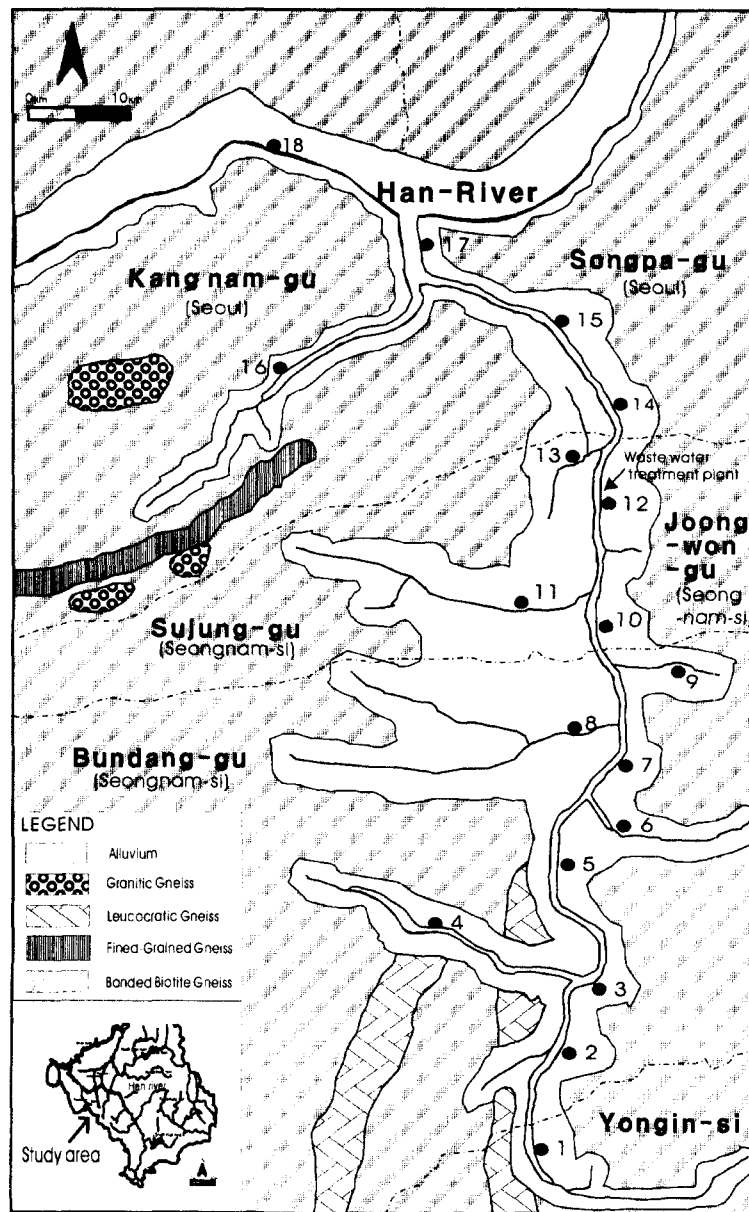


Fig. 1. Sampling location map of waters and sediments in the Tancheon river.

3. 시료채취 및 분석방법

한강으로 연결되는 여러 지천들 중의 하나인 탄천을 대상으로 잠재적 오염정도를 평가하기 위하여 2000년 10월 3일과 2001년 4월 14일 총 두 차례에 걸쳐 경기도 용인시 용인군 구성면에서 경기도 성남시를 거쳐 서울시 강남구 삼성동 인근의 한강 분류와 합쳐지는

탄천에서 하천수와 하상퇴적물 시료를 채취하였다. 우기인 2000년 10월 3일에 3~4 km 간격으로 18개 지점에서 하천수와 하상퇴적물을 채취하였고, 건기인 2001년 4월 14일에 동일지점에서 시료를 채취하였다 (Fig. 1). 연구 지역의 각 하천수의 시료명은 탄천의 주 하천수를 'TWM'으로, 탄천의 지류 하천수를 'TWS'으로, 한강과 합류된 한강수를 'TWH'로 명명하

였고, 숫자는 탄천의 발원지에서부터 하류방향으로 기입하여 한강 분류와 합쳐지는 곳까지 표시하였다. 또한 하상퇴적물 시료는 탄천의 주 하천수에서 채취한 경우 'TSM', 탄천에 합류된 하천수에서 채취한 경우 'TSS', 한강에 합류된 하천수에서 채취한 경우 'TSH'로 명명하였고, 하천수와 같은 방법으로 숫자를 표시하였다.

하천수의 경우 pH, Eh, 온도, 전기전도도(Electric conductivity) 등의 물리적 특성을 현장에서 채수 즉시 Orion사의 290A pH/Ion meter와 Orion사의 model 135 Conductivity/TDS meter를 이용하여 측정하였다. 채수된 물시료들은 냉장 보관된 상태로 실험실로 옮긴 후 0.45 μm cellulose membrane filter를 통과시켜 부유 물질을 제거하고, 양이온 분석용과 음이온 분석용으로 구분하여 100 ml 폴리에틸렌 병에 담아 분석 시까지 냉장 보관하였다. 양이온 분석용 시료의 경우 질산을 가하여 pH를 2 이하로 조정하여 시료 용기 벽면에 양이온의 흡착을 방지하였다. 양이온 분석용 시료는 이화여자대학교 지구과학 연구실의 Perkin Elmer

사의 ICP-AES(OPTIMA 3100RL)와 Perkin Elmer사의 AAS(model 3100)를 이용하여 Ca, Mg, Al, Ba, Fe, Co, Ni, V, Cr, Cu, Be, Mn, Zn, Si, Na, K 등을 분석하였고, 음이온은 Dionex사의 IC(DX-500)를 이용하여 F, Cl, NO₂, Br, NO₃, PO₄, SO₄ 등을, 적정법을 이용해 HCO₃ 및 CO₃를 분석하였다.

하상퇴적물 시료는 하천수 시료를 채취한 동일 지점에서 대표성과 균질성을 나타내기 위해 4-5지점에서 혼합 채취하여 한 개의 대표시료를 만들었으며, 각 지점마다 채취된 시료는 비닐백에 이중으로 밀봉하여 실험실로 옮겨졌으며 실내에서 자연 건조를 통하여 수분을 제거한 후, 건조된 시료들은 -10 mesh(2 mm)체를 이용하여 통과분에 한하여 사분법을 이용, 대표 시료를 선정하여 다시 -80 mesh(<180 μm) 입도로 체질하여 화학분석용 시료를 준비하였다. -80 mesh 입도의 퇴적물 시료 0.25 g에 1 mL의 HNO₃ 용액과 3 mL의 HCl 용액을 넣어 분해시킨 후 시약이 모두 증발하도록 70°C에서 1시간동안 건조하였다. 여기에 증류수를 가해 총 10 mL로 정량화 하였다. 이 최종용액을 ICP-

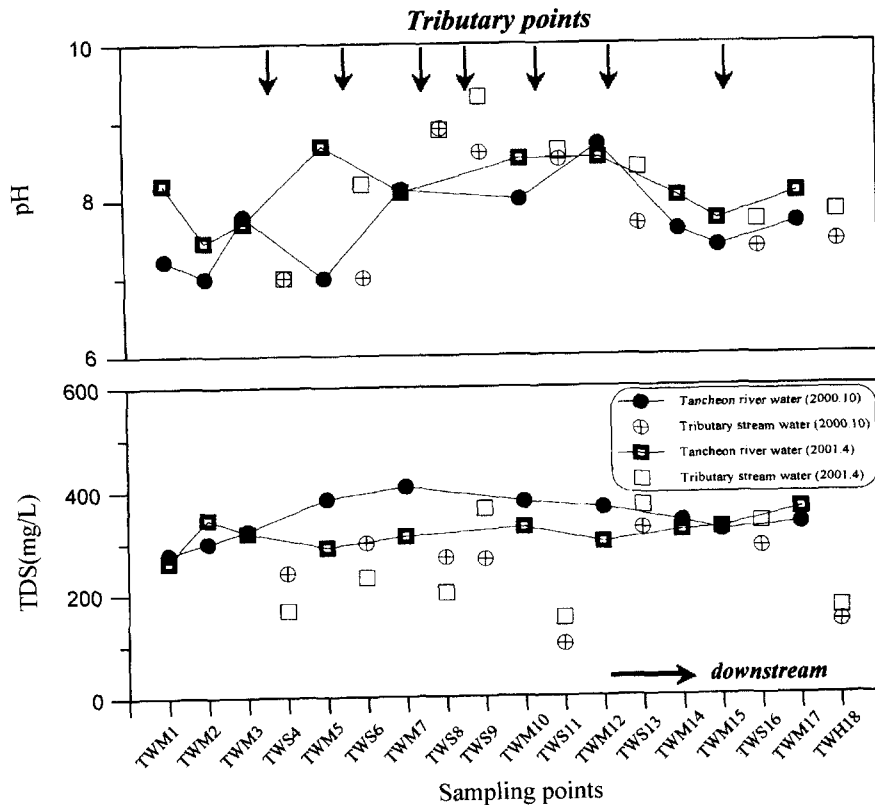


Fig. 2. Variations of pH and TDS in water samples collected from the Tancheon river with distance.

AES와 AAS를 이용하여 Ca, Mg, K, Na, Al, Ba, Fe, Co, Ni, V, Cr, Cu, Be, Mn, Zn, Cu, Pb, Zn, Cd 등을 분석하였다. 모든 화학분석 과정에서 중복시료(duplicate sample), 참고시료(reference sample), 공시료(blank sample)를 첨가하여 신뢰성 평가(quality control)를 실시하였다(Ramsey *et al.*, 1987).

4. 분석 결과 및 고찰

4.1. 하천수의 물리적 특성

탄천에서 채수 즉시 현장에서 측정한 pH와 TDS 값의 변화를 Fig. 2에 도시하였다. 1차(10월) 탄천에서 채수된 하천수의 평균 pH 값은 7.7로 그 범위는 7.0~8.9이었고, 2차(4월)에 채수된 하천수의 평균 pH 값은 8.2로, 그 범위는 7.0~9.3으로 약알칼리성의 특성을 보였다(Fig. 2). 1차에 채수한 하천수의 pH 값과 비교하여 보면 2차에서의 값이 약간 상승하는 경향을 볼 수 있으며, 이러한 pH 값은 1차와 같이 우기에 측정된 안양천 하천수의 pH 값 7.3~7.7(문지원 등, 2000)과 비교시, 이보다 높게 나타났다. 이는 성남시 분당구 지역의 대단위 아파트 건설로 인한 시멘트 등의 건축 자재의 하천 유입과 인간 활동에서 오는 생활 오수 등의 오염의 결과가 반영되어 pH 값이 높아진 것으로 추정된다.

전기전도도는 전하를 띤 이온의 농도가 증가할수록 물의 전기전도도는 증가하게 되고 물에 존재하는 총 이온들의 농도와 선형적인 비례관계에 있으므로 전기전도도와 TDS값은 비례관계에 있다. 1차에 채수된 하천수의 TDS는 141~407 mg/l(평균 297 mg/l), 전기전도도는 113~560 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (평균 403 $\mu\text{S}/\text{cm}$)로 나타났다. 2차 시료들의 경우 TDS는 150~368 mg/l(평균 286 mg/l), 전기전도도는 148~666 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (평균 392 $\mu\text{S}/\text{cm}$)로 나타났다. 1, 2차의 시료들을 각각 채수된 계절적 시기가 유사한 한강 본류로 흘러들어가는 다른 지류들과 비교할 때, 인위적인 오염원의 영향을 많이 받은 안양천의 전기전도도가 평균 169 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 중랑천의 경우 평균 137 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (김규한과 심은숙, 2001)이므로 탄천이 더 높게 나타났다. 탄천 하천수의 TDS는 뚜렷한 경향성은 보이고 있지 않으나, 1차의 경우 TWM-5와 TWM-7 지점에서 가장 높게 나타났고, 2차의 경우 TWM-10와 TWM-17에서 높게 나타났다(Fig. 2). 이는 주변이 대단위 인구밀집 지역이므로 생활 하수 등의 유입으로 용해된 전해질 외에 유기 물질과의 착화합물 형성, 부유 상태의 오염물질의 존재 등으로

TDS 값이 증가된 것으로 사료된다(윤정아 등, 2000) 또한 1, 2차 모두 탄천 지류중 고등교 부근인 TWS-11 지점에서 TDS는 가장 낮은 값을 보였다(Fig. 2).

4.2. 하천수의 지구화학적 특성

탄천 하천수의 화학분석 결과를 세계 하천 평균치(Livingstone, 1963)와 비교하여 Table 1에 나타내었다. 탄천 하천수내 Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ 등의 주요 양이온들은 세계 하천 평균치와 비교시 높은 함량을 나타내었다. 이들 중 Ca^{2+} 의 함량은 탄천 지질 환경의 대다수가 편마암이 분포하고 제4기의 층적층이 덮여 있어 암석의 풍화보다는 1989년 이래로 시행된 분당지구의 신도시 건설로 인한 시멘트 등의 건축 자재의 하천 유입의 영향으로 판단된다(Fig. 3). pH의 변화에서(Fig. 2) 나타난 TWM-7에서 TWM-10까지의 다소 높은 함량도 이런 결과와 일치한다. Fe, Zn, Mn 등의 함량은 세계하천평균치와 비교시 다소 높은 함량을 나타냈다. 이들 대부분의 중금속은 모두 오염되지 않은 자연수 중의 성분 농도 범위(Appelo and Postma, 1994)에 포함되는 것으로 나타났다.

시료채취 지점에 따른 용존 이온의 분석 결과를 보면, 주변에서 합류된 지류들의 용존 이온 함량이 다양하게 나타났다. 특히, 지류들 중 TWS-8는 1차의 경우 Cd와 Fe, 2차의 경우 SiO_2 를 제외한 주요 양이온이 상대적으로 낮게 나타났다(Fig. 3). 탄천은 상류에서 하류로 흘러가면서 뚜렷한 경향성을 나타내지는 않는데, 이는 생활오수 및 폐수의 유입정도에 따라서 탄천 수질이 변화되어 가고 있음을 지시한다. 특히 대단위 아파트 단지가 밀집된 성남시 분당구(TWM-5, TWS-6, TWM-7)를 지날 때 1, 2차 모두 주요 양이온의 함량이 증가하고, 서울의 외곽 지역(TWM-14)으로 흘러가면서 Na^+ 를 제외한 대부분의 이온 함량이 다소 감소하나 다시 강남구 삼성동의 인구밀집지역(TWM-17)을 흐르면서 양이온의 함량이 증가하다가 한강 본류(TWH-18)와 합류된 후에는 한강 본류 하천수와의 희석 효과에 의해 전체 양이온의 함량이 감소하는 경향이 나타났다(Fig. 3).

탄천 하천수내 HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- 등의 주요 음이온의 함량 변화를 Fig. 4에 도시하였다. 용존 음이온 중 HCO_3^- 가 가장 높은 함량을 보였는데, 1, 2차 모두 대단위 아파트 단지가 밀집된 TWM-7에서 TWM-10까지 다소 증가함을 보였으나, 1, 2차 모두 그 경향성이 뚜렷이 나타나지 않았다(Fig. 4). 또한 지류들 중 TWS-8, TWS-9에서 1, 2차 비교적 높은 함

Table 1. Chemical compositions of water samples in the Tancheon river.

Sample No.	Al	Ca	K	Mg	Na	Si	Fe	Mn	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb
unit	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1st sampling (2000. 10.)															
TWM-1	1.16	29.6	13.20	5.7	30.20	15.10	0.36	0.012	0.021	0.002	n.d.	0.02	n.d.	n.d.	0.021
TWM-2	1.11	34.0	10.00	6.3	26.20	14.90	0.10	0.006	0.031	0.002	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.023
TWM-3	1.13	38.8	10.00	7.6	24.50	14.30	0.09	0.001	0.037	0.002	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.023
TWS-4	1.07	27.4	5.80	6.9	26.20	13.00	0.09	n.d.	0.053	0.002	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.020
TWM-5	1.10	40.4	10.10	7.1	28.40	13.90	0.09	0.001	0.042	0.002	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.024
TWS-6	1.13	35.6	5.30	6.0	20.90	14.10	0.09	n.d.	0.052	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.021
TWM-7	1.08	43.1	10.50	7.8	29.90	13.10	0.08	n.d.	0.044	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.026
TWS-8	1.14	31.5	6.90	4.3	17.40	10.70	0.11	0.001	0.030	0.002	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.023
TWS-9	1.07	32.5	5.50	5.5	15.60	12.70	0.08	n.d.	0.063	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.015
TWM-10	1.11	42.2	9.70	7.5	25.30	11.20	0.10	0.001	0.049	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.020
TWS-11	1.15	10.8	2.40	1.3	6.80	11.40	0.17	n.d.	0.044	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.019
TWM-12	1.14	44.0	9.60	7.7	26.20	9.23	0.09	n.d.	0.045	0.002	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.025
TWS-13	1.16	34.5	8.00	5.8	26.60	20.00	0.10	0.001	0.029	0.002	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.024
TWM-14	1.13	35.3	11.80	6.1	56.00	9.63	0.09	0.002	0.016	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.024
TWM-15	1.08	33.9	12.10	6.1	62.00	10.80	0.09	0.002	0.015	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.020
TWS-16	1.05	30.1	9.70	6.0	55.00	11.40	0.08	0.001	0.046	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.023
TWM-17	1.27	34.4	12.60	6.3	65.00	10.90	0.09	0.002	0.023	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.022
TWH-18	1.14	20.5	3.50	3.7	12.20	7.93	0.08	n.d.	0.003	0.002	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.022
2nd sampling (2001. 4.)															
TWM-1	1.08	41.9	5.03	8.2	24.70	23.70	0.23	0.009	0.004	0.002	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.025
TWM-2	1.18	28.8	2.83	5.7	52.60	9.00	0.53	0.158	0.043	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.017
TWM-3	1.12	31.8	2.66	5.6	37.60	8.51	0.11	0.042	0.019	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.019
TWS-4	1.05	19.6	0.33	2.9	10.30	4.88	0.08	0.001	0.016	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.013
TWM-5	1.39	29.7	1.61	4.5	26.00	6.65	0.35	0.094	0.010	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.015
TWS-6	1.05	28.8	1.47	4.4	17.50	8.64	0.09	0.001	0.036	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.017
TWM-7	1.07	33.5	2.15	5.2	36.40	6.15	0.12	0.031	0.026	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.022
TWS-8	1.11	26.2	0.69	3.4	15.90	7.06	0.09	0.004	0.017	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.018
TWS-9	1.10	36.2	8.15	12.3	66.30	3.82	0.21	0.006	0.058	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.024
TWM-10	1.09	34.0	2.53	5.6	30.80	5.71	0.12	0.024	0.019	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.024
TWS-11	1.07	19.6	0	2.2	9.70	5.89	0.08	0.001	0.013	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.017
TWM-12	1.06	31.9	2.03	5.0	32.40	4.64	0.10	0.020	0.023	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.017
TWS-13	1.05	37.2	2.38	5.3	38.60	15.00	0.20	0.830	0.084	0.002	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.021
TWM-14	1.07	26.5	1.86	4.7	39.50	5.16	0.12	0.107	0.016	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.017
TWM-15	1.08	26.2	1.86	4.8	39.80	4.83	0.12	0.105	n.d.	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.019
TWS-16	1.07	27.0	1.93	5.3	32.10	9.39	0.37	0.059	0.016	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.019
TWM-17	1.07	25.9	2.10	5.1	42.60	5.10	0.10	0.130	n.d.	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.017
TWH-18	1.07	17.1	0.63	3.5	14.20	1.29	0.09	0.001	0.003	0.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.016
T.T.L.		80.2	7.80	48.60	45.90		27.90								
^{2)W.A.}	0.05	20.4	3.41	2.21	5.79		0.04	0.008							0.001

n.d.: not detected

^{1)T.L.}: limit of tolerance level (Appelo & Postma, 1994)^{2)W.A.}: World Average (Livingstone, 1963)

Table 1. Continued.

Sample No.	V	Zn	F	Cl	SO ₄	NO ₃	NO ₂	PO ₄	HCO ₃	CO ₃	pH	Eh	Temp.	EC	TDS
unit	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		mV	°C	S/cm	mg/L
1st. sampling (2000, 10.)															
TWM-1	0.020	0.159	0.11	31.3	31.2	8.3	n.d.	n.d.	113.2	n.d.	7.23	133	20.0	383	277
TWM-2	0.001	0.096	0.10	29.4	38.6	7.9	2.6	n.d.	148.3	n.d.	7.00	175	19.2	390	299
TWM-3	n.d.	0.176	0.10	30.3	52.8	6.3	2.6	n.d.	122.0	n.d.	7.79	144	21.0	432	323
TWS-4	n.d.	0.180	0.15	14.8	26.9	7.0	n.d.	n.d.	119.4	n.d.	7.00	141	21.3	330	240
TWM-5	n.d.	0.153	0.11	37.7	64.8	8.0	3.1	n.d.	97.7	n.d.	7.00	115	21.0	451	384
TWS-6	0.001	0.211	0.09	29.8	58.6	4.5	n.d.	n.d.	160.0	n.d.	7.00	188	20.9	357	298
TWM-7	n.d.	0.246	1.13	49.3	70.9	7.4	3.0	n.d.	87.0	n.d.	8.12	113	22.1	494	407
TWS-8	0.002	0.084	0.11	28.3	41.3	10.3	n.d.	n.d.	128.9	n.d.	8.91	152	23.0	321	269
TWS-9	n.d.	0.145	0.10	23.7	34.5	n.d.	n.d.	n.d.	155.0	n.d.	8.60	182	22.4	329	265
TWM-10	n.d.	0.213	0.12	40.3	65.1	11.4	2.2	n.d.	140.9	n.d.	8.00	166	21.5	451	378
TWS-11	0.003	0.079	0.17	8.0	15.5	7.3	0.5	n.d.	136.2	n.d.	8.51	160	20.7	112.5	100
TWM-12	0.003	0.094	0.12	57.0	84.7	15.4	1.5	n.d.	115.6	n.d.	8.70	136	22.5	460	365
TWS-13	n.d.	0.218	0.28	56.8	46.6	12.8	2.5	n.d.	89.1	n.d.	7.69	137	21.6	414	325
TWM-14	0.001	0.189	0.10	51.6	35.3	15.4	n.d.	n.d.	124.5	n.d.	7.61	162	21.6	527	338
TWM-15	n.d.	0.173	0.11	58.5	32.4	20.4	1.4	n.d.	90.3	n.d.	7.39	118	21.3	560	319
TWS-16	n.d.	0.149	0.39	60.4	23.4	23.5	n.d.	n.d.	76.9	n.d.	7.37	172	21.6	470	287
TWM-17	n.d.	0.162	0.37	63.7	33.0	22.9	1.4	n.d.	91.5	n.d.	7.69	187	18.2	559	333
TWH-18	0.003	0.124	0.08	9.6	9.8	7.0	2.4	n.d.	70.8	n.d.	7.45	176	20.2	210	141
2nd. sampling (2001, 4.)															
TWM-1	0.030	0.108	n.d.	23.7	35.0	18.5	n.d.	0.5	114.8	n.d.	8.20	144	16.6	416	261
TWM-2	0.003	0.073	0.27	48.5	24.2	12.4	n.d.	2.4	119.3	n.d.	7.46	140	14.9	595	346
TWM-3	0.006	0.086	0.30	32.7	33.5	29.7	1.2	1.2	155.9	n.d.	7.70	183	19.0	474	318
TWS-4	n.d.	0.057	0.43	34.7	31.3	36.2	n.d.	0.6	149.9	n.d.	7.00	176	13.1	170	167
TWM-5	n.d.	0.088	0.14	40.9	42.6	77.3	n.d.	n.d.	82.1	n.d.	8.69	114	15.2	362	290
TWS-6	n.d.	0.101	n.d.	32.1	36.9	32.5	n.d.	n.d.	99.9	n.d.	8.20	118	17.5	280	231
TWM-7	0.002	0.107	n.d.	45.8	43.8	33.6	n.d.	n.d.	158.9	n.d.	8.09	187	16.6	419	311
TWS-8	n.d.	0.057	n.d.	39.2	31.0	45.2	n.d.	n.d.	140.4	12.0	8.89	165	16.8	252	200
TWS-9	n.d.	0.077	n.d.	97.0	33.9	44.2	n.d.	0.2	146.5	n.d.	9.31	172	16.6	666	364
TWM-10	0.001	0.080	1.27	43.1	31.4	58.6	n.d.	n.d.	129.0	n.d.	8.52	152	15.9	396	328
TWS-11	n.d.	0.060	0.85	30.5	24.3	35.6	n.d.	n.d.	154.1	n.d.	8.63	181	10.1	148	150
TWM-12	n.d.	0.086	0.75	33.7	34.0	51.8	n.d.	n.d.	119.4	n.d.	8.53	141	13.2	354	298
TWS-13	n.d.	0.116	0.74	71.9	53.3	32.4	n.d.	n.d.	107.8	n.d.	8.40	161	12.5	478	368
TWM-14	n.d.	0.092	0.80	56.5	47.9	48.3	n.d.	1.5	75.8	n.d.	8.03	124	15.5	499	319
TWM-15	n.d.	0.096	0.98	40.2	39.0	33.5	3.4	n.d.	96.5	n.d.	7.73	114	13.5	448	324
TWS-16	n.d.	0.079	1.45	60.8	44.3	140.5	n.d.	0.3	141.0	n.d.	7.72	166	16.5	395	335
TWM-17	n.d.	0.106	1.09	57.2	38.1	131.7	n.d.	n.d.	100.9	n.d.	8.08	184	16.8	522	362
TWH-18	0.001	0.064	0.36	26.2	27.1	31.1	n.d.	n.d.	112.1	n.d.	7.83	173	11.6	199	168
¹⁾ TL				70.9	480.3	124.0		1.9	305.1						
²⁾ W.A.		0.030		5.7	12.1				35.2						

n.d.: not detected

¹⁾TL: limit of tolerance level (Appelo & Postma, 1994)

²⁾W.A.: World Average (Livingstone, 1963)

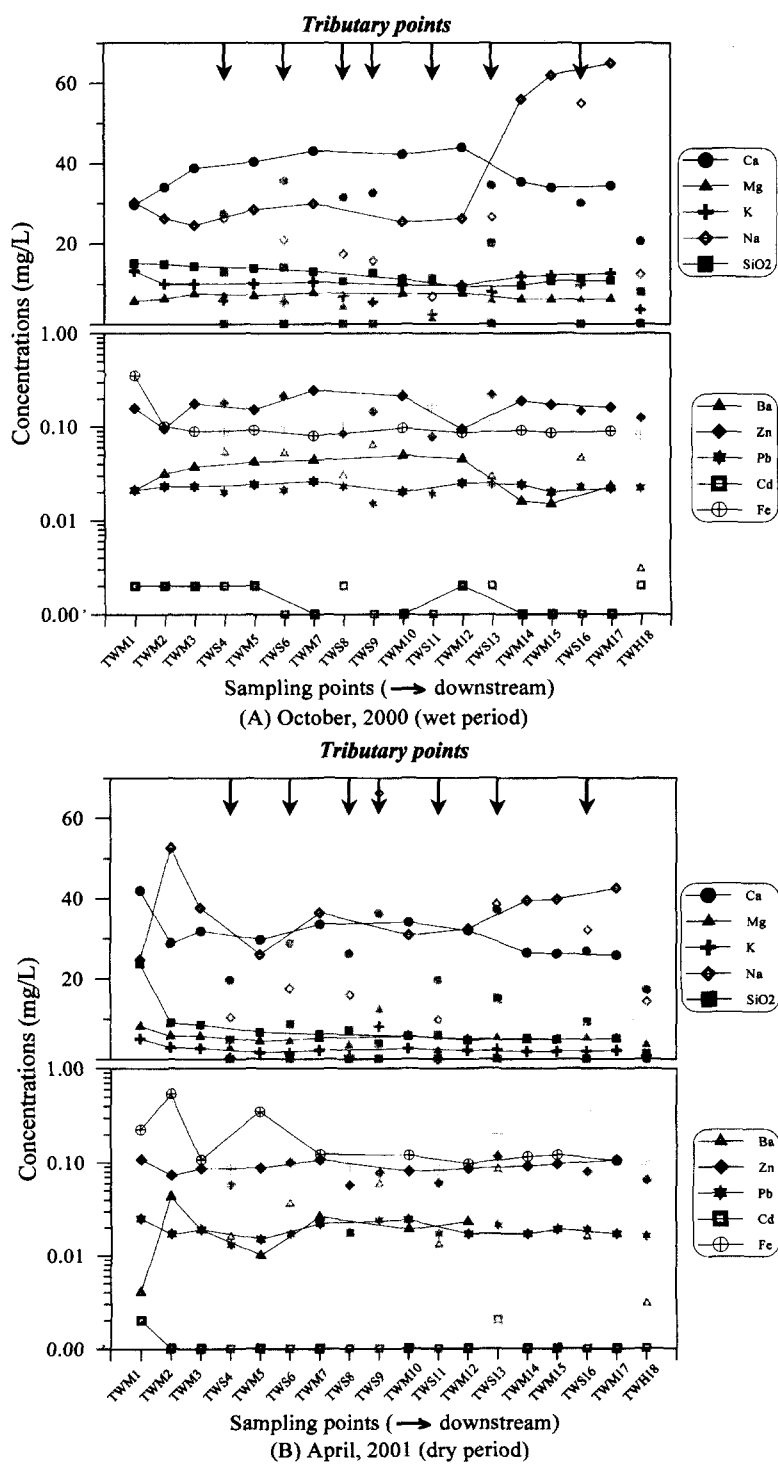


Fig. 3. Variations of cation and heavy metal concentrations in water samples collected from the Tanchon river with distance

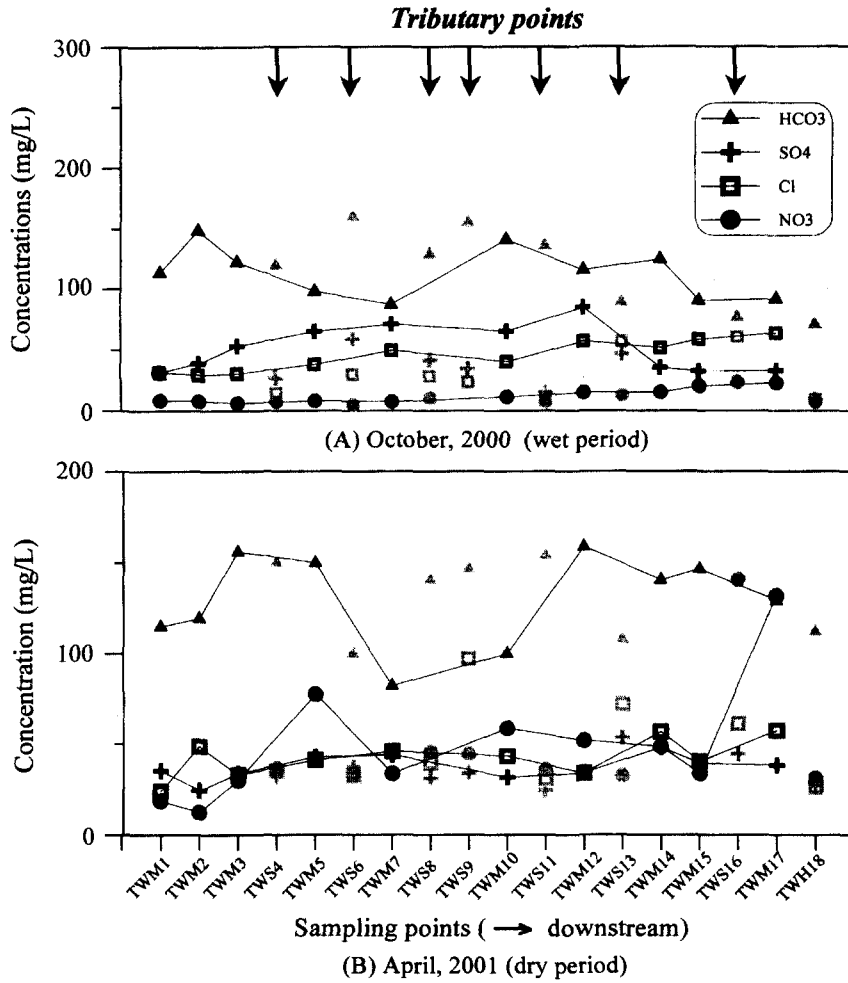


Fig. 4. Variations of anion concentrations in water samples collected from the Tancheon river with distance.

량을 보였다. NO₃⁻은 자연적인 지질매체와의 반응에 의해 공급되기보다는 생활오수나 폐기물 등의 오염에 의하여 물 속에 존재하게 되는데, 탄천 전 지점에서 NO₃⁻ 함량이 다소 높게 나타났다. 이는 계속적인 탄천 주변 용인시와 성남시 일대의 택지 개발과 공업단지의 폐수 유입의 영향으로 판단된다. 1차의 경우 Cl⁻, SO₄²⁻ 함량도 전반적으로 상류지역에서 하류로 흘러가면서 증가하는 경향을 나타내는데(Fig. 4), 이는 인간 활동에 의한 생활하수 속의 황화합물과 합성세제 등의 함양으로 추정된다. 2차의 경우도 전반적으로 증가하는 경향을 보이는데, 부분적으로는 아직 덜 오염된 TWS-8, TWS-11 등의 지류와 합류후 다소 희석되어 감소하는 경향을 보이고 있다. 한편 한강 본류와 합류

된 후에는 한강 본류 하천수와의 희석 효과에 의해 음이온 함량이 양이온과 함께 급격히 감소하였다.

한강 본류로 유입되는 주요 지천의 선행연구(문지원 등, 2000; 김규한과 심은숙, 2001)와 비교해 보면, 가장 오염 정도가 심한 것으로 보고된 안양천의 경우 탄천과는 다르게 Fe, Mn, PO₄, B 등이 부화되어 있는데, 이는 상류에 위치한 공업, 산업 단지들로 인한 오염 물질의 유입 때문으로 나타난 것이다. 특징적으로 안양천의 경우 NO₃⁻성분이 검출되지 않은 반면, 탄천의 경우 1차 채수시 평균 11.5 mg/L, 2차 채수시 약 4배 정도 증가된 49.6 mg/L로 분석되었는데 이는 유기 오염물질의 유입이 그 만큼 증가된 것으로 생각된다. 또한 다른 지천인 중랑천의 경우는 도시 하수의 영향

을 받고 있어 Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{2-} , Mn 의 농도가 비교적 높은 것으로 나타났다(서해영과 김규환, 1997). 이런 주요 지천들에 비해 탄천의 경우 상대적으로 생활하수에서 비롯되는 염화물의 함량이 다소 낮게 나타났고, 1차 채수 시기에 비해 2차 채수 시기에 그 함량이 증가되었는데 이는 1차(우기)의 경우 강수량 증가에 따른 희석효과로 인해 그 함량이 낮게 나타난 것으로 판단된다.

4.3. 하천수의 화학적 유형 및 계절적 변화

물의 화학적 특성은 물에 용존된 주성분 양이온과 음이온의 함량으로 결정되며, 특히 수계 환경에서 일어나는 지구화학적 진화과정을 예상할 수 있으므로 (Fetter, 1994) 불시료들에 대한 주요 양이온과 음이온

의 농도를 당량으로 환산하여 Piper's diagram에 도시하여 나타내었다(Fig. 5). 탄천으로 유입되는 지류에서 채취한 하천수와 일부 탄천 하천수의 경우 양이온 영역에서는 Ca^{2+} 가, 음이온 영역에서는 HCO_3^- 가 우세하게 나타났는데, 이는 시멘트와 같은 건축 자재 등의 하천 유입으로 추정된다. 그러나 일부 탄천 하천수의 경우 Ca^{2+} 보다는($Na^+ + K^+$)가 우세한 영역에 도시되었으며, 음이온 영역에서는 HCO_3^- 보다는 Cl^- 가 부화되어 있는 것으로 나타났다. 이는 하천수와 암석, 토양간의 반응이기보다는 생활하수, 합성세제, 공업폐수 등의 인위적 오염에 의한 화학 조성의 변화로 생각된다. 한편 모든 하천수는 Mg^{2+} 가 결핍되어 있는 특성을 나타내고 있다.

하천수의 화학성분은 계절적 변화에 따라 영향을 받

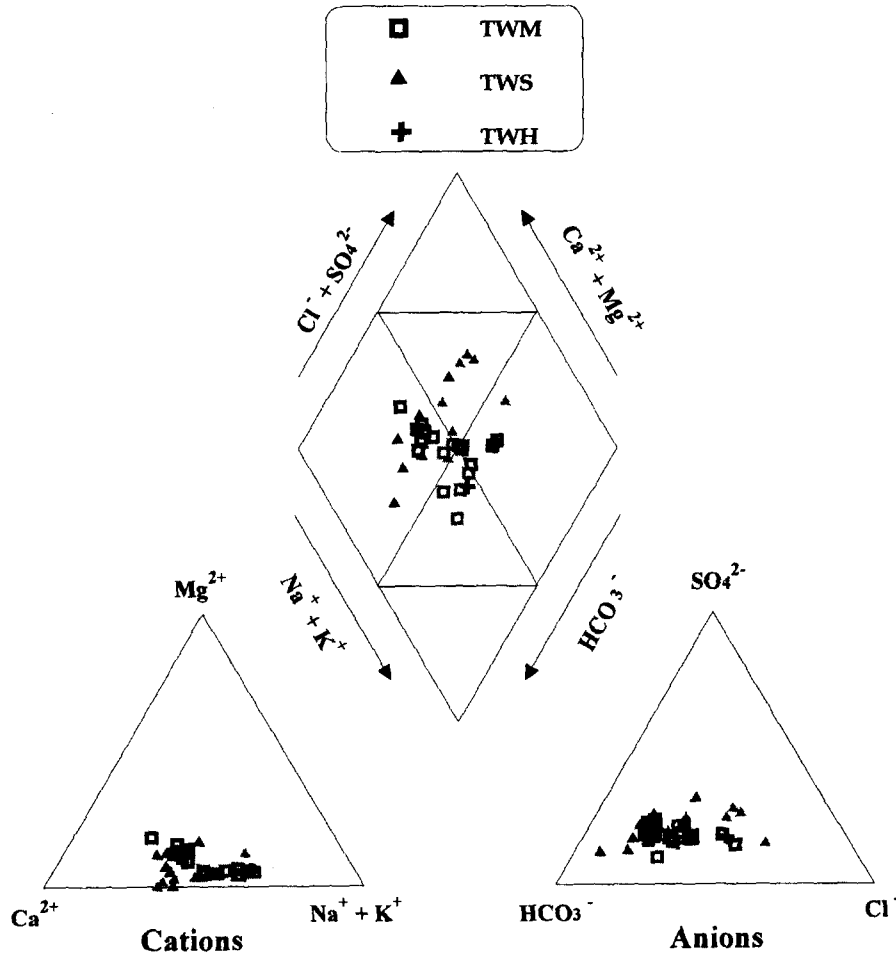


Fig. 5. Chemical classification of water samples represented as percentages of total equivalents per liter on the Piper's diagram.

기 때문에 우기(1차)와 건기(2차)로 나누어서 그 함량을 비교·분석하였다. 양이온 함량비가 1차 시료의 경우 $Ca^{2+} > Na^+ > SiO_2 > K^+ > Mg^{2+}$ 의 순으로 나타나며, 2차 시료의 경우 $Na^+ > Ca^{2+} > K^+ > SiO_2 > Mg^{2+}$ 의 순으로 나타났다. Na^+ 의 경우는 전반적으로 1차의 함량이 탄천 하류에서 한강 본류로 흐르면서 급격한 증가를 보였고, 2차의 경우도 변화정도는 작았지만 경향성은 유사하게 나타났다. Ca^{2+} 의 경우는 전체적으로 4-5 mg/l 정도로 다소 감소하였다. K^+ 의 경우는 1, 2 차의

함량이 거의 변화가 없는 반면, SiO_2 의 경우 TWM-1, TWS-11, TWS-13을 제외한 전 지점에서 1차에 비해 2차에 감소하였다. 전체적으로 알칼리 및 알칼리 토금속의 함량이 높음을 알 수 있다. 음이온의 함량비는 1차 시료의 경우 $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^- > NO_3^-$ 의 순으로 나타나고, 2차 시료의 경우 $HCO_3^- > NO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-}$ 의 순으로 나타났다. NO_3^- 의 경우 1차에 비해 2차에서 약 5배정도 높게 나타났고, Cl^- 의 경우도 다소 상승하였다. 또한 1차 때는 검출되지 않았던 PO_4^{2-} 가

Table 2. Analytical results of stream sediments in the Tancheon river (unit in mg/kg).

Sample No.	Al(%)	Ca(%)	K(%)	Mg(%)	Fe(%)	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Pb	V	Zn
1st sampling														
TSM-1	1.69	0.36	0.82	0.53	2.44	108.8	1.60	2.2	33.0	30.4	488.0	26.0	11.1	96.8
TSM-2	1.15	0.29	0.79	0.46	2.10	74.0	1.60	6.2	59.6	19.6	396.8	19.2	22.4	58.0
TSM-3	1.84	0.58	1.04	0.82	3.23	126.4	1.60	13.3	94.8	37.6	520.0	30.0	37.6	98.0
TSS-4	2.08	0.18	1.51	0.56	2.50	149.6	1.60	9.2	70.0	19.2	752.0	18.8	30.5	35.2
TSM-5	1.45	0.40	0.62	0.62	2.55	109.2	1.60	8.5	75.2	27.6	312.8	23.2	28.7	80.4
TSS-6	1.41	0.65	3.50	0.55	2.43	122.0	1.60	8.0	66.0	32.8	1748.0	45.2	28.6	143.6
TSM-7	1.13	0.56	0.68	0.50	2.20	83.2	1.60	5.5	60.0	22.4	337.2	23.6	22.5	94.4
TSS-8	1.76	0.42	1.18	0.69	2.90	159.2	1.60	10.0	84.0	25.2	592.0	35.2	36.6	100.8
TSM-10	1.25	0.46	2.27	0.48	2.46	118.4	2.80	7.5	64.4	26.0	1136.0	25.2	26.2	102.8
TSS-11	2.24	0.41	3.99	0.62	3.40	217.2	2.00	11.8	84.8	28.0	1996.0	48.0	43.2	86.8
TSM-12	1.74	1.66	3.61	0.70	2.90	205.6	2.00	77.6	88.8	80.0	1808.0	56.8	34.7	288.0
TSS-13	1.48	0.26	0.59	0.57	2.40	145.2	2.00	9.1	93.2	79.2	294.8	30.4	36.9	118.4
TSM-14	2.10	0.38	0.69	0.80	3.77	286.0	2.00	12.9	96.0	27.2	347.2	41.6	48.0	123.2
TSM-15	1.73	0.39	0.73	0.65	3.03	179.6	2.00	11.0	83.2	35.2	366.4	40.4	38.1	120.0
TSS-16	1.69	0.46	1.89	0.62	2.87	218.8	2.00	10.2	78.4	34.4	944.0	40.0	38.0	168.8
TSM-17	1.91	0.59	0.88	0.68	2.93	154.0	2.00	11.1	86.0	50.8	440.0	44.0	38.9	151.2
TSH-18	1.03	0.33	0.65	0.45	2.14	74.4	1.60	5.3	59.2	21.6	323.2	26.8	24.0	71.6
2nd sampling														
TSM-1	0.97	1.44	0.81	0.46	1.99	63.6	1.40	5.3	55.2	42.4	408.0	42.8	23.3	234.0
TSM-2	2.53	0.68	0.86	1.12	3.98	151.2	1.76	17.7	120.0	49.6	432.0	12.0	54.4	112.4
TSM-3	1.96	0.96	1.00	0.78	3.02	218.8	1.70	10.2	94.4	124.4	504.0	22.5	36.8	344.0
TSS-4	1.74	0.28	3.63	0.57	3.35	161.2	2.00	13.4	84.4	40.8	1816.0	24.4	33.8	108.8
TSM-5	1.43	0.54	1.03	0.55	2.68	138.0	1.60	8.1	73.6	81.2	516.0	48.4	28.5	160.0
TSS-6	1.88	1.10	1.22	0.75	2.86	193.6	1.60	10.3	91.6	144.8	612.0	52.6	38.1	608.0
TSM-7	0.53	1.40	0.72	0.37	1.65	59.6	1.60	1.7	74.4	95.6	361.2	32.4	13.1	203.2
TSS-8	2.10	0.52	1.23	0.72	3.09	173.2	1.60	11.4	88.4	51.2	616.0	48.0	42.4	192.4
TSS-9	1.73	0.70	2.70	0.67	2.82	214.0	2.40	10.8	86.0	131.6	1352.0	40.4	36.4	302.8
TSM-10	1.70	1.01	2.72	0.60	2.76	209.6	2.00	10.0	76.4	50.4	1360.0	36.2	35.8	187.6
TSS-11	2.03	0.44	1.94	0.61	2.82	174.0	2.40	10.3	73.6	42.8	1820.0	32.8	38.1	158.0
TSM-12	1.93	1.81	2.76	0.01	3.19	303.6	2.00	11.9	115.6	116.0	1536.0	44.6	39.5	356.0
TSS-13	1.98	0.45	0.74	0.70	2.96	167.0	2.40	11.3	98.0	95.2	395.0	40.0	43.2	197.6
TSM-14	2.29	0.41	0.64	0.73	4.18	321.2	2.40	11.0	93.6	52.0	435.0	40.8	54.4	249.2
TSM-15	1.98	0.50	0.72	0.70	3.42	199.2	2.00	9.8	86.0	58.0	450.0	45.2	51.6	235.2
TSS-16	1.82	0.48	0.56	0.95	3.12	300.8	2.00	11.9	82.0	62.0	1020.0	40.0	54.4	234.8
TSM-17	2.05	0.67	0.79	0.72	3.39	165.2	2.00	11.4	79.2	98.0	468.0	24.0	45.6	208.0
TSH-18	1.10	0.40	0.41	0.66	2.61	146.0	1.20	8.0	67.6	67.2	342.0	13.2	39.2	218.4

2차 시료 분석시 일부 지점에서 나타났는데 이는 강수 유입량의 차이로 인한 희석효과 때문으로 판단된다.

4.4. 하상퇴적물의 지구화학적 특성

하상퇴적물은 오랜 역사를 내포하고 있으므로 현재의 하천수 특성으로 하상퇴적 물 내의 중금속 분포 특성을 설명하기에는 부족한 점이 많으므로, 하천수 자체 보다 더 좋은 정보를 제공한다고 알려져 있다. 하상퇴적물과 하천수의 금속 함량은 상호보완 관계에 있으므로 최적의 자료를 수집하기 위해서 하상퇴적물을 하천수 시료 채수와 동일 지점에서 채취하였다. 이에 퇴적물 시료에 대한 화학분석 결과를 Table 2에 나타내었다. 퇴적물내 존재하는 중금속의 오염정도와 생물학적 피해 가능성을 예견하기 위해서는 자연적인 배경값과 허용 한계값에 대한 비교자료가 필요하다. 따라서 캐나다의 OME(Ontario Ministry of the Environment)에서 제시한 퇴적물에 함유된 중금속의 저서생물

Table 3. Sediment quality criteria proposed by the Ontario Ministry of Environment, Canada (Persaud *et al.*, 1989).

Metal	No effect level	Lowest level	Limit of Tolerance level
Cd (ppm)	0.6	1	10
Cu (ppm)	15	25	114
Pb (ppm)	23	31	250
Zn (ppm)	65	110	800
Fe (%)	2	3	4
Mn (ppm)	400	457	1110

에 대한 독성정도를 Table 3에 나타내었다. 이는 1) 오염되지 않은 수준 2) 오염과 비오염의 문턱 수준 3) 허용한계 수준으로 분리하여 퇴적물 관리 책정선을 제시하였다(Persaud *et al.*, 1989).

하상퇴적물 대부분의 시료에 대한 주성분 원소의 경우 그 함량이 Fe>Al>K>Ca>Mg 등의 순으로 나타났으며, 특히 성남시 수정구와 중원구를 통과하는

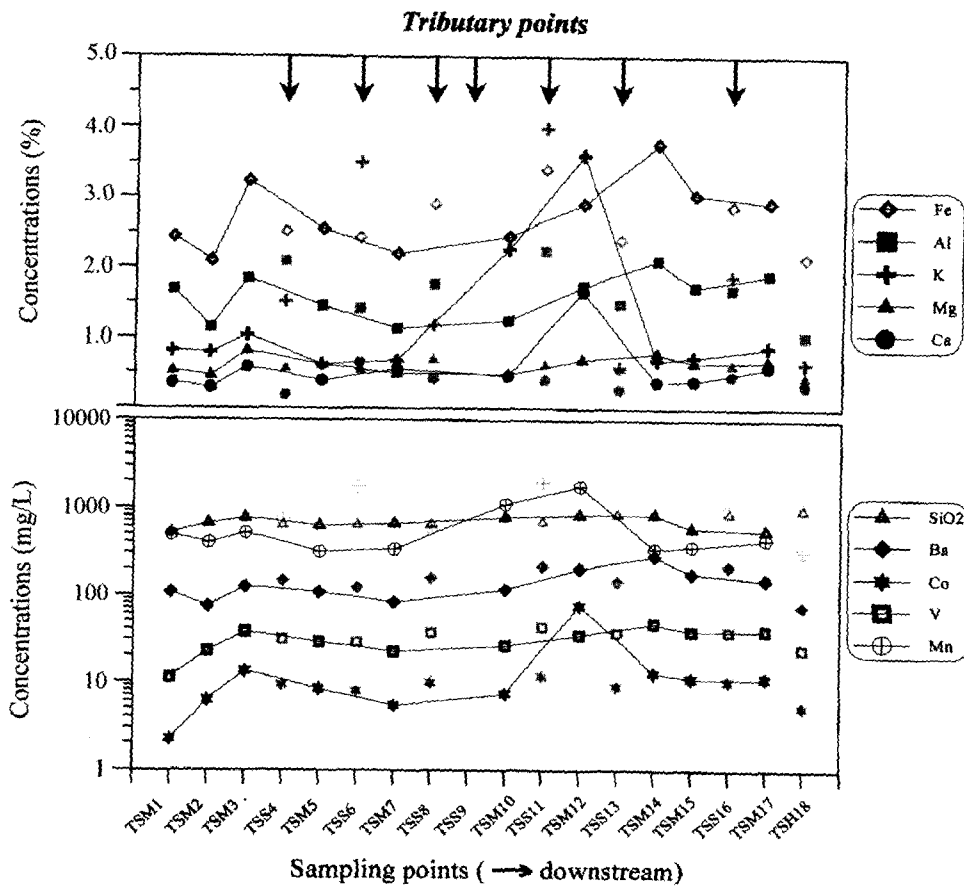


Fig. 6. Variations of element concentrations in sediment collected from the Tanchon river with distance.

TSM-12 시료에서는 대부분 높은 양이온 함량을 보였다(Fig. 6). 이는 인구밀집지역과 주변의 공업단지의 영향 때문으로 판단된다. 또한 탄천의 지류에서 채취한 퇴적물에서도 중금속 함량이 높게 나타나 지류들의 합

류에 의해 탄천의 중금속 오염 현상은 가중되고 있는 것으로 판단된다. 한편, 캐나다 OME에서 제시한 Fe, Mn, Cd, Cu, Pb, Zn의 오염과 비오염의 문턱값과 비교하여 볼 때, Fe를 제외한 이들 중금속의 평균함량이

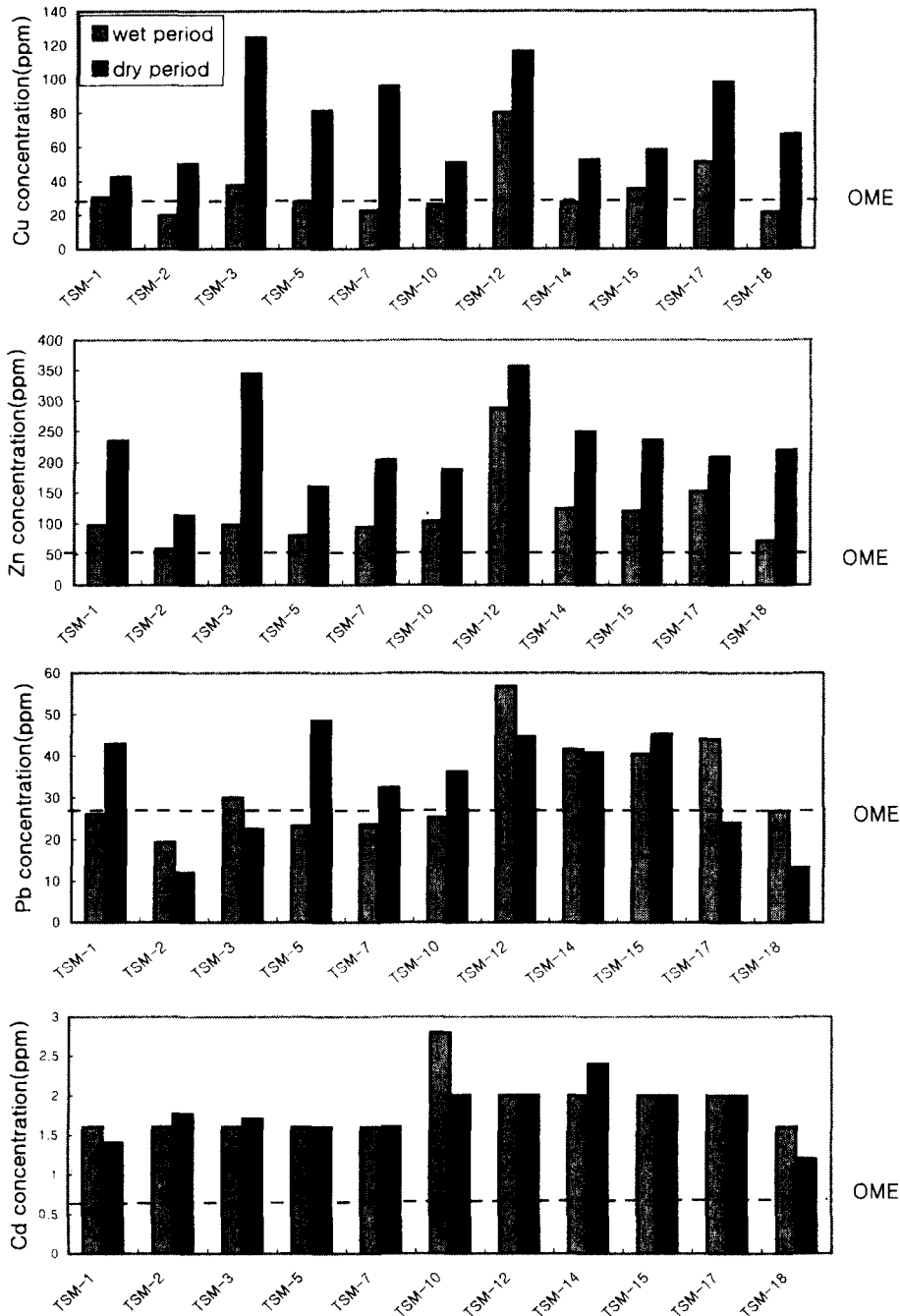


Fig. 7. Variations of heavy metals in sediments with sampling period.

Table 4. Correlation coefficients of elements in sediments.

1st sampling	Ca	Mg	K	Fe	Al	Ba	Co	V	Cr	Mn	Cu	Zn	Pb	Cd
Ca	1.000	0.308	0.541	0.162	0.043	0.220	0.924*	0.108	0.239	0.540	0.595	0.880*	0.646	0.466
Mg		1.000	0.042	0.878*	0.713*	0.688	0.361	0.757*	0.782*	0.037	0.310	0.392	0.538	0.031
K			1.000	0.214	0.269	0.324	0.493	0.195	0.115	0.999*	0.195	0.462	0.626	0.288
Fe				1.000	0.823*	0.863*	0.242	0.828*	0.706	0.210	0.125	0.291	0.620	0.248
Al					1.000	0.767*	0.193	0.660	0.522	0.272	0.128	0.136	0.474	0.077
Ba						1.000	0.368	0.811*	0.651	0.320	0.265	0.461	0.692	0.370
Co							1.000	0.235	0.367	0.490	0.652	0.823*	0.610	0.172
V								1.000	0.935*	0.177	0.295	0.298	0.610	0.304
Cr									1.000	0.094	0.480	0.364	0.528	0.249
Mn										1.000	0.194	0.462	0.623	0.284
Cu											1.000	0.733*	0.523	0.262
Zn												1.000	0.795*	0.316
Pb													1.000	0.275
Cd														1.000

*Significant at p=0.001

이 기준치를 초과하고 있으며, 특히 TSM-12 지점을 전후로 채취한 시료들내 중금속 함량이 이 기준치를 수배정도 초과하고 있다(Fig. 7). 이는 인근 지역의 공장폐수나 생활하수에 함유된 중금속이 하상퇴적물 내에 다량 함유되어 오염시킨 것으로 사료된다.

하상퇴적물의 중금속 함량의 계절적 변화는 1차(우기)보다 2차(건기)에서 채취한 시료에서 높게 나타났다(Fig. 7). 퇴적물은 자연수에 의해 분리 및 이동되어 물리화학적 침전에 따라 퇴적되고, 여기에 포함된 중금속은 광석광물, 유기물, 철 및 망간 산화물에 흡착되어 이동 또는 농집되기 때문에(Rose *et al.*, 1979) 건기의 경우 우기보다 분리 및 이동이 적어 물리화학적 침전이 많아져서 보다 높은 이온을 함유하는 것으로 판단된다. 특히 중금속 중 Cd를 제외한 Fe, Zn, Pb, Cu 등은 건기의 경우 최상류를 제외한 대부분의 지점에서 오염 부하가 진행된 것으로 나타났다. Mn의 경우, 심각한 오염 퇴적물로 규정되는 허용한계인 1100 ppm을 넘는

지점이 4지점으로 나타났고, 이들 지점 인근지역이 위생하수처리장과 분당의 인구밀집 지역이므로 Mn 등의 주요오염원이 각종 세정제에 의한 것으로 생각된다. Pb의 경우, 1, 2차의 경우를 비교할 때 Pb 함량 변화가 다른 중금속에 비해 작게 나타났는데 이는 Pb가 다른 오염물에 비해서 긴 잔류시간을 갖는 비교적 안정한 중금속이기 때문으로 사료된다. 이러한 하상퇴적물 내의 중금속 함량 변화와는 달리, 앞서 설명한 하천수의 경우는 계절적인 변화가 크게 나타나지는 않았다.

하상퇴적물의 원소들 간의 상관관계수를 구한 결과를 Table 4에 나타내었다. 이들 중에서 Al-Mg-Fe-Ba-V 등의 원소들은 유의한 양의 상관관계를 보이고, Ca-Co-Pb-Zn-Cu, K-Mn 등도 각각 유의한 상관관계를 보여, 지구화학적 수반관계가 양호함을 보여준다(이진수, 1997).

4.5. 하상퇴적물의 중금속 부화수준

퇴적물의 입도나 유기물 함량에 의한 영향을 제거하

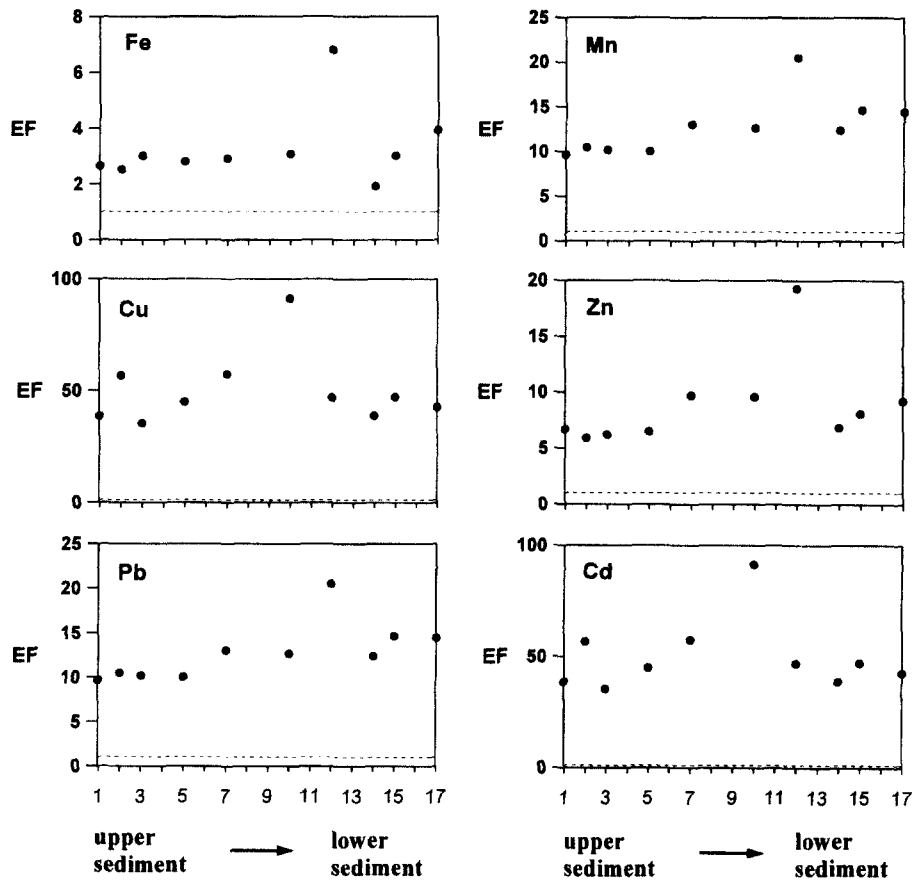


Fig. 8. Enrichment factors of each analysed element.

고 인위적인 중금속 오염 정도를 효과적으로 파악하기 위해서 보존성 원소를 이용한 부화계수(Enrichment Factor)를 도입하였다(Bruland *et al.*, 1974). 부화계수란 연구시료의 중금속 X와 보존성 원소(Al)의 비를 지각 평균 함량비로 나눈 값으로 계산식은 다음과 같다.

$$\text{부화계수(EF)} = \frac{(X/Al)_{\text{sediment}}}{(X/Al)_{\text{Earth's crust}}}$$

지각의 평균값은 Mason(1966년)에 의해 발표된 값을 사용하였다. 부화계수 1.0을 기준으로 높은 값은 부화, 낮은 값은 결핍되어 있음을 의미한다. Fig. 8에 제시된 중금속들의 부화계수를 보면 모든 원소가 각 퇴적물시료 채취 지점에서 1.0 이상의 값을 보여 부화되어 있음을 알 수 있다. 특히 Cd, Pb, Zn, Cu 등의 중금속에 대한 부화계수가 매우 높게 나타났다. 이는 매우 심각한 중금속의 인위적 오염상태에 있음을 나타낸다. 이들 부화계수는 TSM-12 지점(성남시 위생하수처리장 지점)의 퇴적물에서 급격히 증가하여 가장 높은 값을 보였다. 따라서 탄천 퇴적물내 중금속 부화수준은 상류에서 하류지역으로 가면서 점차 증가하다가 인구밀집지역 또는 공업단지 지역에서는 급격하게 증가하는 경향을 나타내 퇴적물에 대한 인위적 기원에 의한 오염 영향은 오염원으로부터 비교적 가까운 범위에 한정되어 있는 것으로 해석된다. 향후, 연속 추출 등을 통한 연구방법으로 중금속의 존재형태 및 거동양상을 보다 자세히 연구할 것이다.

5. 결 론

한강의 지천인 탄천을 대상으로 채수한 하천수와 하상퇴적물 시료에 대한 주요 용존이온종과 중금속 함량을 분석한 결과 다음과 같은 수리지구화학적 특징이 얻어졌다.

1. 탄천 하천수의 pH 값은 1차에는 평균 8.0, 2차에는 평균 8.2로 약알칼리성을 보였으며, 이러한 pH 값은 1차에 분석된 시료와 계절적 시기가 유사한 안양천 하천수의 pH값(7.3~7.7)과 비교시 보다 높게 나타났다. 1차는 TDS가 141~407 mg/l(평균 297 mg/l)로, 전기전도도는 113-560 $\mu\text{S/cm}$ (평균 403 $\mu\text{S/cm}$), 2차는 150-368 mg/l(평균 286 mg/l), 전기전도도는 148~666 $\mu\text{S/cm}$ (평균 392 $\mu\text{S/cm}$)로 측정되었다. 이들 1, 2차 분석결과들을 각각 한강분류로 흘러 들어가는 다른 지류인 안양천과 증랑천의 전기전도도(각각 169 $\mu\text{S/cm}$, 137 $\mu\text{S/cm}$)와 비교시 높게 나타났다.

2. 탄천 하천수내 주요 용존 이온중 Ca의 함량이 세계하천평균치와 비교시 높은 지역과 pH가 8.0에서 9.3까지의 높은 함량을 보이는 지역은 기반암인 편마암의 풍화에 기인하기보다는 1989년 이래로 대단위 신도시가 건설되어 건설 자재로 사용된 시멘트의 하천 유입에 따른 하천수와 용해 반응에 기인한 것으로 추정된다. NO_3 , Cl, SO_4 등의 함량은 성남시 분당구와 수정구의 인구밀집 지역에서 높은 함량을 나타내고 있다. 생활오수 및 공업폐수 등의 영향 때문으로 사료된다.

3. 시료채취 지점에 따른 용존 이온의 화학분석 결과를 보면, 전반적으로 뚜렷한 경향성을 나타내지는 않으며, 탄천 주류에 합류되는 지류들의 오염정도에 따른 영향 때문으로 생각된다. 한편 탄천이 한강 본류와 합류된 후에는 한강 본류 하천수와 희석 효과에 의해 이온들의 함량이 감소하는 경향이 나타났다.

4. 하상퇴적물내 중금속 함량을 캐나다 OME에서 제시한 오염문턱 수준과 비교할 때, Fe를 제외한 Mn, Cu, Pb, Zn, Cd 등의 중금속 평균함량이 이 기준치를 초과하고 있으며, 특히 TSM-12 지점을 전후로 채취한 시료들내 이들 함량이 매우 높게 나타났다. 이는 인접해 있는 성남시 위생하수처리장으로 인한 오염물질의 유입과 인근 지역의 공장폐수나 생활하수에 함유된 중금속이 하상퇴적물 내에 다량 함유되어 오염시킨 것으로 판단된다.

5. 하상퇴적물의 중금속 함량의 계절적 변화는 우기보다 건기에서 채취한 시료에서 높게 나타났다. 특히 Cd를 제외한 Fe, Zn, Pb, Cu 등은 건기의 경우 최상류를 제외한 전 지점에서 오염 부화가 진행된 것으로 나타났다. 이는 건기의 경우 우기보다 분리 및 이동이 적어 물리화학적 침전이 증가하여 이온농도가 증가한 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 과학기술부지원 2000년 여자대학교 연구기반 확충사업(과제번호 00-B-WB-01-A-04)연구지원으로 수행되었다.

참고문헌

김규한, 심은숙 (2001) 한강 하천수 중 용존이온의 지구화학적 특성과 기원, 34권, 6호, p. 539-553

김주용, 정철환, 오강호, 고영구, 문정준, 유경아 (1999)

- 광주부근 영산강과 광주천의 하상퇴적물의 중금속 오염, 한국지하수과학회, 20권, 1호, p. 96-100.
- 문지원, 이상훈, 문희수 (2000) 안양천 바다 퇴적물의 지구화학적 특성에 따른 하천수 오염영향, 자원환경지질, 33권, 3호, p. 205-215.
- 서혜영, 김규한 (1997) 한강 수계 분지내 하천수의 지구화학적 특성, 대한지하수학회, 4권, 3호, p. 130-143.
- 오창환, 이지선, 김강주, 정성석, 황갑수, 이영엽 (2001) 진주시 하천의 중금속과 음 이온에 대한 수질현황 및 오염원, 자원환경지질, 34권, 1호, p. 89-104.
- 윤정아, 김규한 (2000) 남한 탄산수의 지구화학적 특성과 안정동위원소 조성, 지하수환경, 7권, 3호, p. 116-124.
- 이진수 (1997) 옥천대 흑색셰일 및 점판암 분포지역에서의 잠재적 독성원소들의 분산과 부화, 박사학위논문, 234pp.
- 이현구, 조애란, 이찬희 (1999) 입도분포에 따른 하상퇴적물의 지구화학적 분산 및 부화, 자원환경지질, 32권, 3호, p. 247-260.
- 홍승호, 이병주, 황상기 (1982) 한국 지질도. 서울도폭, 한국동력자원연구소, 19pp.
- 환경청 (1983) 한강유역 환경보전 수질부분보고서, 1권, p. 7-70.
- Appelo, C.A.J. and Postma (1994) Geochemistry, groundwater, and pollution : Balkema, Rotter dam, 536p.
- Berner, E.K. and Berner, R.A. (1987) The global water cycle, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 397pp.
- Bruland, K.W., Bertine, K., Koiolo, M. and Goldberg, E. D. (1974) History of metal pollution in Southern California coastal zone. Environ. Sci. Tech., 8, 425-432.
- Fetter, C.W. (1994) Applied hydrogeology, 3rd ed.
- Livingstone, D.A. (1963) Chemical composition of rivers and lakes, USGS prof. Paper, 440-G.
- Persaud, D., R. Jaagumagi and A. Hayton (1989) Development of provincial sediment quality guidelines. Ontario Ministry of the Environment, Water Resources Branch, Aquatic Biology Section, Toronto, Ontario, Canada.
- Ramsey, M.H., Thompson, M. and Banerjee, E.K. (1987) Realistic assessment of analytical data quality from inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, Anal. Proc., v. 24, p. 260-265.
- Rose, A.W., Hawkes, H.E. and Webb, J.S. (1979) Geochemistry in mineral exploration. 2nd ed., Academic press, London, .657p.
- Thornton, I. (1983) Applied Environmental Geochemistry, Academic Press, 501. www.segyetimes.co.kr

2001년 11월 23일 원고접수, 2002년 2월 24일 게재승인.