

도시하천 퇴적물 중의 오염물질 분포양상 규명에 관한 연구 - 안양천, 홍제천, 불광천, 난지천을 중심으로 -

수질화학팀

서미연 · 길혜경 · 신진호 · 한선규 · 배경석 · 김민영

The Study on the Pollutant Distribution Pattern of Sediments in Urban Streams

Water Chemistry Team

Mi-Yeon Suh, Hye-Kyung Kil, Jin-Ho Shin, Seon-Kyu Han,
Kyung-Seok Bae, and Min-Young Kim

Abstract

The pollutant distribution pattern of sediments at 11 sites of Anyang, Hongjae, Bulgwang and Nanji streams was investigated.

The results were as follows :

1. The dry weight of substratum particle in sediment of Anyang stream are composed of cobble(8.5~10%), pebble(9.1~35.1%), gravel(3.7~50.9%), and sand(0.3~53.8%). Substratums of Nanji stream were composed of silt particles 85% of total that was a showed homogeneous composition.

2. The contents of T-N, T-P showed the highest at site Anyang-1 (0.0092%) and Anyang-4 ($672.0\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), while the concentrations of T-P were the lowest at site Hongjae-1 ($16.8\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) and Hongjae-2 ($28.0\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Sediment of Nanji stream were the highest T-P content ($1926.4\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) and showed severe contamination pattern.

3. The concentration degree of heavy metal was showed Mn>Zn>Cu>Cr>Pb in orders, respectively and Cd was not detected in whole sites.

4. Correlation coefficients between heavy metal concentration and organic matter contents were showed high significant ($P<0.01$, $r = 0.796$).

서 론

최근 도시 주변의 하천이나 호소가 가정하수나 공장

폐수의 유입에 따라 급격한 수질의 악화를 나타내고 있으며 일단 오염된 후에는 오염 행위를 중지하더라도 그 위해가 장기간 지속되는 수가 많다.¹⁾ 하천내에 유입된 오염 물질중 침전성 고형물질은 중력에 의하여

자연히 하천 바닥에 가라 앉게 되는데 그 양과 위치는 유속에 의해 크게 영향을 받는다. 즉, 유속이 완만한 지역에 많은 양이 침전하게 되는데, 퇴적물은 정체된 수역과 오염물질이 유입된 직하류 부근에 가장 많으며, 하천에서의 침전 시간은 호소나 해안에 비해 하천의 수심이 얕기 때문에 대체로 짧고 홍수등의 큰 유량에 의해 씻겨지기도 하므로 그 변화가 크다. 퇴적물에서 용존가능성이 높은 부분은 수층(overlying water)과 맞닿고 있는 퇴적층의 표층 부분이고 와류와 유기물의 분해등의 물리화학적 조건의 변화에 의해 수층으로 이동하는데, 이때 퇴적물중의 오염물질이 용출된다.^{2,3,4)} 특히 저질은 그 수역에 장기간 체류하기 때문에 유동적인 하천수 성상을 누적적으로 표현하므로 일정 기간의 오염상태를 반영하는 오염 지표로 가치가 있으며 또한 수질의 상시 감시의 미비점을 보완하는 의미를 갖는다.⁵⁾

따라서 본 조사는 안양천, 불광천, 홍제천, 난지천을 중심으로 퇴적물내에 있는 오염물질의 존재 형태를 파악하고 오염물질의 이동에 직접 관련되는 유기탄소량(OC), 총질소량(T-N), 총인량(T-P), 탄소와 질소의 비(C/N ratio), 중금속, 퇴적물의 입도조성을 조사하므로써 퇴적물에 의한 오염도를 파악하여 하천 관리나 하천 복원에 필요한 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 시료채취방법

조사 대상 지역은 Fig. 1과 같이 안양천, 홍제천, 불광천, 난지천 총11개 지점으로 시료 채취는 채나기를 던져서 저질 표면층을 채취하기 위하여 SK Type Bottom Sampler (ES-02, 日本 杉山元醫理器 製作)를 사용하였다. 시료 채취 시기는 1999년 10월 20, 21일 이틀에 걸쳐서 채취 하였으며, 시료는 하천의 하상 형태를 대표할 수 있도록 하기 위해 하천의 중앙과 양쪽 가장자리를 채취하여 한 개의 시료로 혼합하여 사용하였다.

2. 하상구조

하상 퇴적물의 입도 분석은 시료 건조 후 sieve⁶⁾ 분석을 하여 입도별 무게 백분율을 구하였다.

퇴적물의 입자 크기별 분류는 Wentworth⁷⁾ 척도를

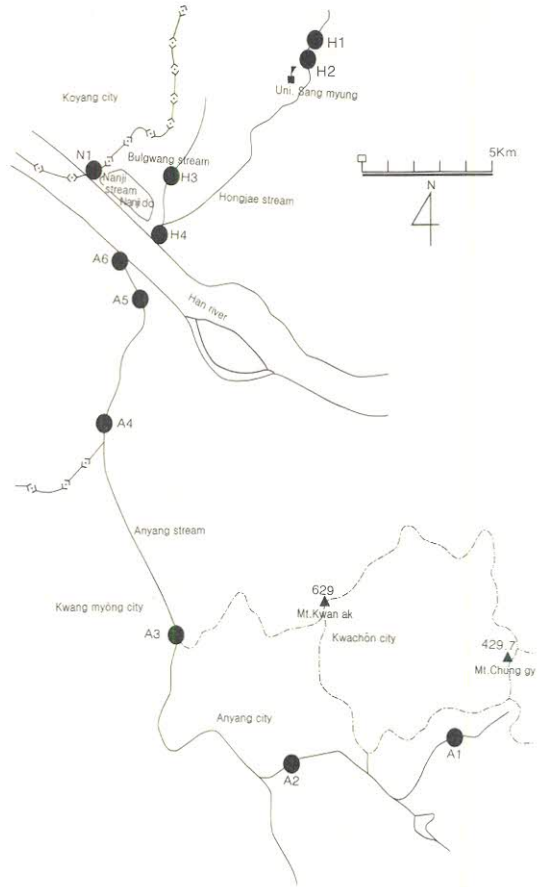


Fig. 1. A map showing the sampling sites in four streams.

기준으로 하였다.

3. 유기물함량, 유기탄소함량

퇴적물의 유기물 함량 및 유기탄소 함량은 80 mesh (0.2mm)체에 거른 풍건한 시료를 황산 산성하에서 중크롬산 칼륨으로 산화시키고 철염으로 적정시키는 Walkley-Black법⁸⁾을 이용하여 실험하였다.

4. 총질소 함유량

총질소 함유량은 진한 황산으로 분해시켜 NH_4^+-N 형태로 전환하여 정량하는 Kjeldahl법⁸⁾을 이용하여 실험하였다.

5. 총인 함유량

총인은 110°C에서 2시간 건조 후 2mm체를 통과한

Table 1. Program of microwave digestion system for sample preparation.

| stage | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Power(%) | 50 | 50 | 50 | 50 | 0 |
| Psi | 40 | 80 | 120 | 160 | 0 |
| Time(min.) | 8 | 8 | 20 | 20 | 0 |
| TAP(min.) | 3 | 3 | 10 | 10 | 0 |
| Fan Speed | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Sample weight | 0.5gram | | | | |
| Reagents | HNO ₃ (70%) | | | | |

Table 2. Instrument parameters of Atomic Absorption Spectrophotometry.

| Element | Cu | Cr | Mn | Cd | Zn | Pb |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Wavelength(nm) | 324.8 | 357.9 | 279.5 | 226.6 | 213.9 | 217.0 |
| Flame type | A-Ac* | A-Ac | A-Ac | A-Ac | A-Ac | A-Ac |
| slit width(nm) | 0.5 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 1.0 | 1.0 |
| EHT(volts) | 284 | 295 | 335 | 324 | 287 | 308 |
| Lamp current(mA) | 4.0 | 7.0 | 5.0 | 4.0 | 5.0 | 10.0 |
| Replicates Standard | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Replicates Sample | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

* A-Ac : air-acetylene

퇴적물을 과황산 칼륨으로 분해 후⁹⁾ ascorbic acid method¹⁰⁾로 정량하였다.

6. 중금속

퇴적물의 중금속은 100 mesh (0.15mm)체에 거른 풍건한 시료를 CEM사의 MDS 2000을 이용하여 전처리 한 후 Varian사의 SectrAA 880으로 분석하여 정량 하였다. 각 과정의 내용은 Table 1 및 2와 같다.

7. 부식화도

호수 퇴적물내의 유기물의 대략적인 부식화도를 평가하기 위하여 C/N ratio를 이용하였다.

퇴적물내의 유기물은 그 기원이나 분해 과정에 따라 다양한 C/N ratio를 나타낼 수 있으나 하천 퇴적물내에 함유된 유기물이 식물성 플랑크톤의 잔해가 주성분이라는 가정하에 이 방법이 사용되었다.

8. 중금속과 유기물질 항목간의 상관성

저질 오염도 변동을 파악하기 위해 SAS를 이용하여 통계 처리 하였으며, 상관 분석을 통해 상관계수(r)와

p-value를 산출하여 상관성을 살펴보았다.

결과 및 고찰

1. 하상구조

저층은(substratum)은 저서성 곤충이나 무척추동물들의 생활사가 이루어지는 서식장소로서 주요 환경인자를 변경시키거나 이들의 서식환경에 영향을 미치고 있으므로 중요시되고 있다.¹¹⁾ 본 조사수계에서 물이 흐르는 하상의 폭은 안양천의 경우 3~5 m, 홍제천, 불광천, 난지천은 5~20 m 범위로, 안양천의 수심은 중류에서 하류로 갈수록 다소 깊어져 유속이 빠른 편이고 그 외의 하천들은 5~50 m로 소하천이다.

이와 같은 하상에 드물게 박혀 있는 boulder나 암반을 제외하고 측정된 입도별 무게 백분율은 Table 3, Fig 2 및 3과 같다.

안양천의 하상구조는 지점 4와 지점 5에서 sand에 속하는 0.5~2 mm 크기의 coarse와 medium이 대부분을 차지하고 지점 1, 2, 3 및 6에서는 16~64 mm크기의 pebble과 gravel이 나타난다. 홍제천에서는 상류에 속하는 지점 1과 지점 2에서 64~256 mm 이상의

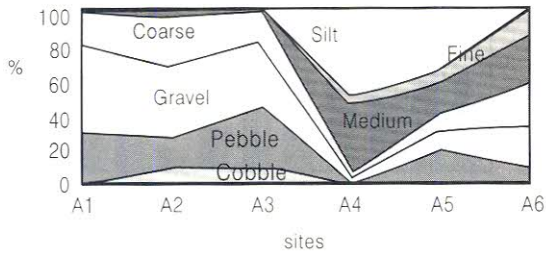


Fig. 2. Composition of the superficial sediments at each site of Anyang stream.

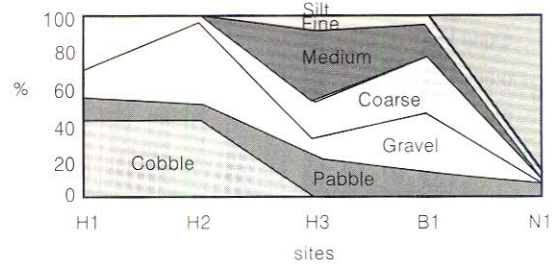


Fig. 3. Composition of the superficial sediments at each site of Hongjae, Bulgwang Nanji stream.

cobble이 대부분을 차지하고 자갈에서 모래까지 다양하게 존재하는 것으로 보아 하상구조의 이질성이 매우 큰 편이며 저서동물의 먹이활동과 관련하여 양호한 서식환경을 제공할 것으로 여겨진다. 홍제천과 합류되는 불광천은 자갈과 모래가 각각 32.4%와 32.9%로 상당한 부분을 차지하고 있으며 난지천은 약간의 pebble이 나타나긴 하지만 85% 이상의 균일한 아주 가는 세사와 silt로 되어 있어 저서생물이 살기에는 부적합한 하상환경을 나타냈다. 98년도에 조사한 중랑천과 탄천의 하상구조와 비교해 볼 때 안양천 상류(지점 1, 2)와 홍제천 상류(지점 1, 2)는 중랑천과 탄천에 비해서 다양한 하상구조와 함께 저서동물의 출현종수도 현저한 차이를 나타냈고, 안양천 본류인 지점 3, 4, 5 및 6과 홍제천 지점 3에서는 탄천과 유사한 하상형태를 가지고 있지만 저서동물 출현종수의 다양성에

서는 낮게 나타났다. 이런 현상은 안양천 주변 지역에 있는 공장에서 배출되는 오염물 유입량에 따른 영향으로 사료된다.

2. 총인, 총질소 함유량

하천별 각 지점의 총질소와 총인의 함유량은 Table 4와 Fig. 4 및 5에 나타났다. 안양천의 상류지점인 지점 1에서 총질소 0.0085%와 총인이 $672.0 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 으로 비교적 높게 나타났는데 이는 상류 부근에 산재해 있는 음식점에서 배출된 유기물 오염에 의한 영향인 것으로 판단되며, 반면 홍제천의 상류지점인 북한산 계곡(지점 1 및 2)에서는 총인의 함유량이 $16.8 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, $28.0 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 으로 가장 낮게 나타났다. 난지천의 경우는 물의 흐름이 적고 하천 주변에 수생식물들의 다량 번식으로 가장 높은값 ($1926.4 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)을 나타냈다.

Table 3. Substratum particle size composition at the investigation sites of Anyang, Hongjae, Bulgwang, Nanji stream.(unit : %)

| Category Sites | Cobble | Pebble | Gravel | Coarse | Sand Medium | Fine | Silt |
|----------------|--------|--------|--------|--------|-------------|------|------|
| A-1 | | 29.4 | 50.9 | 17.2 | 1.4 | 1.0 | 0.1 |
| A-2 | 8.5 | 17.8 | 40.4 | 31.4 | 1.4 | 0.3 | 0.2 |
| A-3 | 10.0 | 35.1 | 37.4 | 10.3 | 6.3 | 0.8 | 0.1 |
| A-4 | | | 3.7 | 53.8 | 38.3 | 4.1 | 0.1 |
| A-5 | | 17.4 | 11.8 | 45.3 | 16.7 | 8.2 | 0.6 |
| A-6 | | 9.1 | 24.3 | 23.2 | 27.9 | 14.3 | 1.2 |
| H-1 | 43.0 | 12.4 | 14.0 | 29.1 | 1.1 | 0.3 | 0.1 |
| H-2 | 41.0 | 9.3 | 45.5 | 3.8 | 0.1 | 0.2 | 0.1 |
| H-3 | | 23.3 | 7.3 | 21.6 | 39.2 | 8.1 | 0.5 |
| B-1 | | 12.5 | 32.4 | 32.9 | 17.6 | 4.5 | 0.1 |
| N-1 | | 7.4 | | | 3.5 | 4.3 | 84.8 |

Cobble 64~256mm, Pebble 16~64mm, Gravel 2~16mm, Coarse 0.5~2mm, Medium 0.25~0.5mm, Fine 0.063~0.25, Silt (<0.063mm)

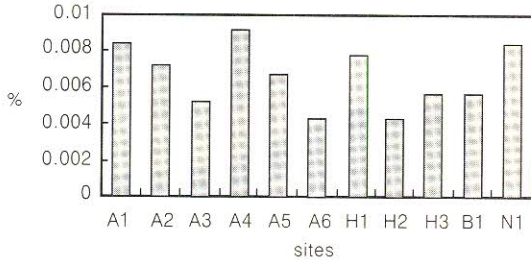


Fig. 4. Rate of total nitrogen in the sediments samples.

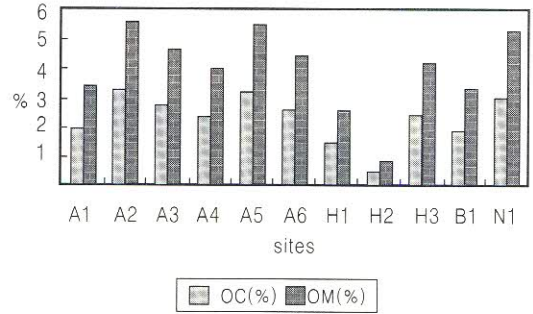


Fig. 6. Distribution of organic matter & organic carbon in the sediment samples.

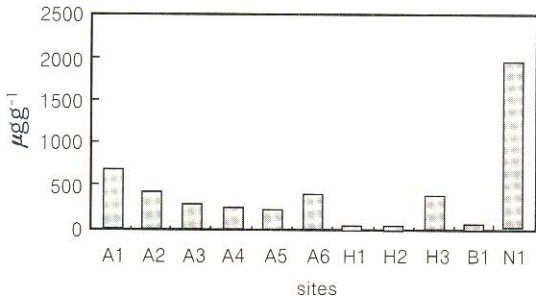


Fig. 5. Concentration of total phosphorus in the sediment samples

3. 부식화도

유기탄소량과 총질소량으로 C/N비를 구한 후 이를 식물성 플랑크톤의 평균 C/N비 5.6과 부식(humus)의 평균 C/N비 10~15와 비교하여 부식의 정도를 측정 하였다. Table 4와 같이 C/N비가 상당히 높게 나타났다으나 이는 저질에서의 총질소 함유량이 상대적으

로 낮게 검출되었기 때문이며 따라서 저질속의 유기물 근원은 식물성 플랑크톤과 관련이 적은 것으로 여겨진다.

98년도에 조사한 중랑천과 탄천에서도 같은 결과가 나타났는데 본 조사 하천에서 전 지점의 퇴적물 대부분이 silt보다는 sand와 gravel로 구성되어 있고 하천 보다는 수심이 낮고 유속이 있기 때문에 혐기성이 이루어지기 힘든 환경조건 때문인 것으로 사료된다.

4. 중금속

안양천 및 홍제, 불광, 난지천에서의 저질에 함유된 중금속 오염도 현황을 파악하기 위해 중금속 6개 항목 Cd, Cu, Pb, Cr, Mn, Zn을 분석한 결과는 Table 5와 Fig 7, 8에 나타났다. 하천 거의 모든 지점에서 망간>아연>구리>크롬>납의 순으로 농도가 높게 나타났

Table 4. The content of T-N, T-P and O.C, O.M and C/N ratio in sediment four streams.

| sites | T-P($\mu\text{g g}^{-1}$) | T-N(%) | O.C(%) | O.M(%) | C/N ratio |
|-------|-----------------------------|--------|--------|--------|-----------|
| A-1 | 672.0 | 0.0085 | 1.98 | 3.42 | 232.9 |
| A-2 | 425.6 | 0.0071 | 3.29 | 5.66 | 463.3 |
| A-3 | 293.1 | 0.0051 | 2.72 | 4.69 | 533.3 |
| A-4 | 238.0 | 0.0092 | 2.35 | 4.06 | 255.4 |
| A-5 | 240.8 | 0.0068 | 3.22 | 5.55 | 473.5 |
| A-6 | 380.8 | 0.0042 | 2.60 | 4.48 | 619.0 |
| H-1 | 16.8 | 0.0078 | 1.48 | 2.56 | 189.7 |
| H-2 | 28.0 | 0.0042 | 0.50 | 0.85 | 119.0 |
| H-3 | 364.0 | 0.0057 | 2.60 | 4.49 | 456.1 |
| B-1 | 56.0 | 0.0057 | 1.98 | 3.42 | 347.4 |
| N-1 | 1926.4 | 0.0085 | 3.22 | 5.55 | 391.8 |

T-N : total nitrogen, T-P : total phosphorus, C/N : organic carbon/total nitrogen

O.C : organic carbon, O.M : organic matter

Table 5. Heavy metals concentration in the sediment sample(unit : μg^{-1})

| Element Sites | Cr | Cd | Cu | Pb | Mn | Zn |
|---------------|-----|-----|-----|-----|------|------|
| A-1 | 251 | N.D | 205 | N.D | 1760 | 425 |
| A-2 | 254 | N.D | 203 | 10 | 2845 | 518 |
| A-3 | 203 | N.D | 552 | 120 | 1590 | 1323 |
| A-4 | 221 | N.D | 423 | 120 | 1008 | 2970 |
| A-5 | 521 | N.D | 800 | 440 | 2252 | 3851 |
| A-6 | 348 | N.D | 578 | 280 | 2185 | 2041 |
| H-1 | 30 | N.D | 90 | 90 | 2730 | 718 |
| H-2 | 7 | N.D | 332 | 60 | 1755 | 3045 |
| H-3 | 174 | N.D | 473 | 235 | 2180 | 1100 |
| B-1 | 153 | N.D | 348 | 110 | 2080 | 741 |
| N-1 | 564 | N.D | 813 | 810 | 7250 | 2209 |

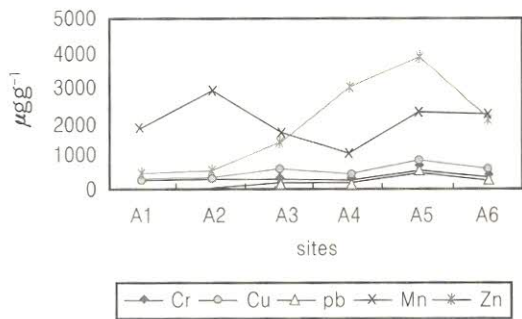


Fig. 7. Distribution of heavy metal at each site of Anyang stream.

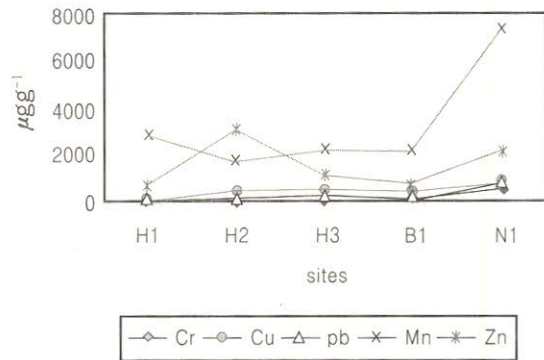


Fig. 8. Distribution of heavy metal each site of Hongjae, Bulgwang, Nanji stream.

으며 카드뮴은 모든 지점에서 검출되지 않았다.

1) 망 간

망간은 망간 광산 및 관련 제련소 폐수, 제강공장, 건전지 제조 공장 및 망간 화합물 사용 공장등의 폐수에 혼입된다. 실험 결과 Table 5와 Fig 7 및 8과 같이 망간은 $1008 \sim 7250 \mu\text{g}^{-1}$ 의 범위로 안양천 지점 4에서 제일 낮고 다른 하천에 비해 오염도가 높다고 판단되는 난지천이 가장 높게 나타났다. 魚¹²⁾가 조사한 하천 중에서 가장 높게 검출된 왕숙천의 망간 평균치 ($272.0 \sim 970.8 \mu\text{g}^{-1}$)와 비교해 보면 본 조사 하천 지역에서 망간 오염원의 감시가 요구된다.

홍제천의 3지점으로 합류되는 불광천은 모든 항목에서 홍제천의 농도보다 비슷하거나 낮게 나타나 직접적인 영향을 주지는 않는 것으로 여겨진다.

2) 아 연

아연은 자연 환경중에도 널리 분포하여 각종 암석에 $10 \sim 170 \mu\text{g}^{-1}$ 이 함유되어 있고 식물중에도 함유되어 있다. 실험 결과 아연은 안양천이 $425 \sim 3851 \mu\text{g}^{-1}$, 홍제천이 $718 \sim 3045 \mu\text{g}^{-1}$, 불광천과 난지천이 각각 $741 \mu\text{g}^{-1}$, $2209 \mu\text{g}^{-1}$ 의 범위로 하류로 갈수록 농도가 증가하는 경향을 나타냈다.

안양천의 5지점이 $3851 \mu\text{g}^{-1}$ 으로 가장 높게 검출된 것은 안양천 주변의 아연 도금업소에서 배출된 것으로 추정되며 안양천 상류지역 지점 1에서는 가장 낮은 농도로 검출됐다.

3) 구 리

구리는 자연계에 널리 분포하여 토양 중에도 $2 \sim 100 \mu\text{g}^{-1}$ 정도 존재하며 구리 사용량 전체의 약 70%

Table 6. Correlation coefficients(r) between heavy metal concentration and organic matter contents

| r | P | Cr | Cu | Pb | Mn | Zn | O.M |
|-----|---|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| Cr | | 1.000 | | | | | |
| Cu | | 0.803** | 1.000 | | | | |
| Pb | | 0.801** | 0.843** | 1.000 | | | |
| Mn | | 0.578 | 0.432 | 0.812** | 1.000 | | |
| Zn | | 0.378 | 0.647* | 0.445 | 0.006 | 1.000 | |
| O.M | | 0.796** | 0.565 | 0.509 | 0.383 | 0.018 | 1.000 |

* : P<0.05 ** : P<0.01

가 전선, 전기기계 전동기로서 아연, 주석과의 합금의 황동, 청동등이며 기타 주물이나 화폐에도 이용된다.¹³⁾ 실험 결과 구리는 안양천 지점 5에서 $800 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 으로, 난지천은 $813 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 으로 가장 높게 검출 됐다. 홍제천은 상류지역 북한산 계곡에서 $90 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 으로 가장 낮게 검출 됐으며 하류로 갈수록 높게 나타났다.

4) 크롬

크롬은 지각중에 $100 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 정도 함유되어 있고 용도도 광범위하여 스테레스강, 니크롬선 등의 합금재료나 강한 산화력을 이용하여 염료제조의 산화제, 합성용 촉매, 피혁, 공업 약품등에 사용되고 있다. 실험 결과 크롬은 안양천 지점 5와 난지천에서 $521 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, $564 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 으로 가장 높게 나타났으며 홍제천에서는 $7 \sim 174 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 범위로 가장 낮게 나타났다. 魚¹²⁾가 1993년도에 조사한 안양천의 $73.5 \sim 125.7 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 과 비교해 볼 때 그 당시에는 비교적 높지 않은 농도로 보고 됐었으나 그 동안 많은 오염이 진행된 것으로 판단되며 앞으로 크롬 폐수의 배출원 조사 및 감시가 요망된다.

5) 납

납은 오염되지 않은 토양 중에도 비교적 다량인 $2 \sim 200 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 정도 함유되며, 이는 금속 또는 화합물로서 용도가 광범위하여 각종 기기용 기구, 화학 약품, 안료, 도료, 염료 및 농약등의 구성 성분으로 함유되어 있다.¹³⁾ 실험 결과 납은 안양천에서 N.D $\sim 440 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 홍제천에서 $60 \sim 235 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 의 범위로 하류로 갈수록 비교적 높게 나타났으며 다른 중금속에서도 높은 농도를 나타낸 안양천 지점 5와 난지천이 각각 $440 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, $810 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 으로 납에서도 가장 높은 농도를 나타냈다.

1993년에 조사된¹²⁾ 안양천($90.1 \sim 134.7 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)과 중랑천($46.9 \sim 78.3 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)의 납농도와 비교해 보면 안양천 하류지역 지점5 및 6에서 오염이 심화 됐으며, 난지천의 경우는 중랑천 보다도 10배 이상의 높은 농도를 나타냈다.

5. 중금속 및 유기물질 항목간의 상관성

각 중금속 항목간의 상관성 및 중금속과 유기물질량과의 상관성은 Table 6과 같이 유기물질량과 중금속 농도와는 크롬에서 매우 유의한 ($p < 0.01$) 차이를 나타내 유기물 함량이 많을수록 크롬 농도가 높다는 것을 알 수 있었으며 중금속간의 상관성은 Cr-Cu, Cr-Pb, Cu-Pb, Pb-Mn 등에서도 높은 상관성을 나타냈다. 모든 중금속간에 서로 양의 상관 관계를 나타냈는데 이는 Ramesh등¹⁴⁾의 연구에서 중금속 대부분이 서로 양의 상관관계를 갖는다는 보고와 일치 하였다. 특히 Cu-Pb는 $r=0.843$ ($p=0.001$)으로 가장 높은 상관성을 나타내 Cu-Pb의 동시 오염 관계를 잘 나타내고 있다.

결론

안양천과 홍제천, 불광천, 난지천의 11개 지점 퇴적물중의 오염물질 분포 양상에 대한 결과는 다음과 같다.

1. 퇴적물의 하상구조는 Wentworth classification에 의해 분류한 결과 안양천의 경우 8.5~10%의 cobble과 9.1~35.1%의 pebble 3.7~50.9%의 gravel과 0.3~53.8%의 sand까지 다양하게 구성되어 있으며 홍제천과 불광천에서

도 전 조사 지점의 1/3이상이 gravel 및 pebble로 구성되어 있어 저서동물의 먹이 활동과 관련하여 양호한 서식환경을 가지고 있는 반면, 난지천은 85%가 silt질로 되어 있어 다양한 종의 저서생물이 살기에는 부적합한 것으로 판단된다.

2. 총질소와 총인의 함유량은 안양천의 지점 1과 지점4에서 총인($672.0 \mu\text{g g}^{-1}$), 총질소(0.0092%)의 농도가 가장 높았고, 반면 홍제천에서는 북한산 계곡 지점 1과 지점 2에서 총인의 함유량이 $16.8 \mu\text{g g}^{-1}$, $28.0 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 가장 낮게 나타났다. 난지천에서는 총인의 농도가 $1926.4 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 가장 높게 나타나 퇴적물의 오염이 심각한 상태를 나타냈다.
3. 중금속 농도는 망간>아연>구리>크롬>납의 순으로 높게 나타났으며 카드뮴은 모든 지점에서 검출되지 않았다. 지점별로는 안양천 지점 5가 가장 높은 농도의 중금속이 검출 됐으며, 홍제천의 지점 1과 지점 2에서 크롬과 구리, 납이 가장 낮게 검출 됐다.
4. 중금속 및 유기물질 항목간의 상관성에서는 크롬과 유기물질이 ($p<0.001$) 매우 유의한 차이를 나타냈으며, 중금속간의 상관성은 Cr-Cu, Cr-Pb, Cu-Pb, Pb-Mn에서 높은 상관성을 나타냈다.

참 고 문 헌

1. Bostrom, B. : Potential mobility of phosphorus in different types of lake sediment. *Int. Revue. Hydrobiol.*, 69(4):457~474(1984).
2. Hakanson, L., Jansson M. : Principles of lake sedimentology. Springer-Verlag, Berlin, P., 316(1983).
3. Forstner, V., Wittmann, G.T.W., Metal

pollution in the aquatic environment. Springer-Verlag, Berlin, P., 486(1979).

4. 서울특별시: 한강 조류발생 방지대책 및 수질개선 방안연구. P.198(1999).
5. M. Ogura and T. Matsunobu: 底質의 分析試料 調製 方法と 分析値의 變動. *水環境學會誌* 15(3) 174~178(1992).
6. Ingram, R.L. Sieve analysis. In. *Procedure in sedimentary petrology* (ed.Carver, R.E). Wiley-Interscience, N.Y., P49~67(1971).
7. Wentworth, C.K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J.Geology*, 30:377~392(1992).
8. 농촌진흥청 산업기술연구소: 토양화학분석법 - 토양, 식물체, 토양미생물. (1988).
9. 김홍제: 한강분류 퇴적인의 존재형태에 관한 연구. (1994).
10. 동화기술: 수질오염공정시험법 주해 (1999).
11. Resh, R.H. and D.M. Rosenberg: *The ecology of aquatic insect*. Praeger Publ., New York, P625(1984)
12. 魚秀美: 서울시 인근의 한강 분류 및 지류에 대한 하상 저질의 중금속오염 평가. (1994).
13. 김종택 편저: 환경오염 공정시험법 해설(수질). 신광출판사. (1996).
14. R.Ramesh, V. Subramanian and R.V. Grieken: Heavy metal distribution in sediments of Krishna river basin. *India. Environmental Geology Water Sciences*. 15(3):207~216. (1990).
15. 전상호, 박용안: 소양호 퇴적물에 함유된 인의 존재 형태와 용출 가능성에 대하여. *한국육수학회지*, 22(3):261~271(1989)
16. 서울시보건환경연구원: 한강 지류천 생태계 조사 연구(중랑천, 탄천). (1998).