*The Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment 19(1) 154~167(2009)*

보건환경연구원보

# 수영강 수계 퇴적물 특성 연구

김봉기† · 정경원 · 김효진

폐기물분석과

# Study on the Characteristics of Sediment in Suyeong River

Bongi-Gi Kim†, Kyung-Won Jung and Hyo-Jin Kim

*Industrial Waste analysis Division*

## Abstract

In this study, the distribution and concentrations of heavy metals and other organic/ inorganic matter were investigated in sediments from 9 sites of the Suyong river. Rhe concentrations of the heavy metals in sediments mosfly showed lower value than the preliminary standards in accordance with the Soil Environment Conservation Act. However, the concentrations of Zn, Cu in Dongcheon Bridge (S1) exceeded the preliminary standards and the concentrations of Cd, Zn, Cr were higher than other heavy metals. Compared with the concentrations of heavy metals in Senakdong River Basin/ streams/sediments in Busan, the Cd, Hg concentration was higher than other heavy metals except industrial area and the concentrations of Cu, Zn, Mn, As were similar for samples. The particle size fluctuated according to sampling sites. In midstream, the compositions of sand and mud were similar for samples except gravel. However, the composition of mud was larger than sand in downstream. The concentration of COD which show organic poll utants was the highest in Seokdae (S2) and the lowest in Seokdae (S9). The concentration of LOI was the highest in S7, S8 taken from the downstream. The average concentrations of T-N were 4 times higher than T-P. In S1/S2 sites, T-N concentration was higher than other sites and T-P concentration in S2 was the higest. Other sampling site except S8/S9 were similar in T-N, T-P concentrations.

Key words : heavy metals, sediments, particle size, organic pollutants, LOI, preliminary standards

## 서 론

산업 고도화가 진행되면서 인간활동에 따른 환경오염 문제가 점차 증대되는 가운데 특히 산업폐수 및 생활하수에 의한 하천 오염은 우리나라 전역에서 심각하게 진행되어가고 있다. 이는 도시생활 및 산업활동에 의해 생산되는 폐수 속에 포함된 중금속 원소들이 배출지점과 주변 하부 수계의 하천수 및 하상퇴적물을 심하게 오염 시킬수 있기 때문이다[1]. 따라서 상수원수로 사용되고 있는 하천이나 호소 등의 공공수역 내의 자연정화력은 떨어지고 있어 수생 생태계 등 수질환경은 점차 악화되고 있는 추세이다.

또한 오염된 퇴적물은 직접적으로 하천수질에 영향을 미치고 하천바닥에 침전되어 퇴적물을 오염시키게 되므로 생태계에 직접적으로 영향을 미치게 될 것이며, 하천으로 유입되는 다양한 유해물질들은 수생태계 및 하상에 퇴적되는 퇴적물을 오염시켜 환경에 변화를 가져오고 있다.

하상퇴적물 중 오염물질의 농도 측정은 환경오염 실태를 파악하는 방법의 하나로 이용되는데 이는 하상퇴적물이 장기간 한 지역의 대기, 수질 및 토양으로부터 광범위한 오염물질을 축적할 뿐만 아니라 이렇게 축적된 오염물질들은 자연적으로 제거되기가 매우 어렵고 유기물의 분해나 그에 따라 나타나는 물리 화학적 조건의 변화에 의해 장기간에 거쳐 수층으로 이동하기 때문에 그 지역의 오염지표로 이용될 수 있다[2].

퇴적물은 산업폐수, 생활오수, 침출수, 도시 및 농촌의 강우유출수에 포함되어 하천으로 유입된 유기물, 영양염류, 유해화학물질 등의 오염물질이 침강되어 오염이 된다. 이러한 오염으로 인해 퇴적물이 수서 생물 혹은 국민건강에 악영향을 미칠 수 있는 농도 이상의 중금속, 다환방향족탄화수소, 농약, 폴리

*Corresponding author. E-mail : Bonggi@korea.kr
Tel : +82-51-757-6937, Fax : +82-51-888-6817

크로리네이티비페닐 등의 유해화학물질을 포함하는 경우 오염 퇴적물이라 일컫는다[3].

하천에서 수질은 단기간에 걸친 하천환경의 특성 변화를 반영하는데 반하여, 하상퇴적물에 함유되어 있는 중금속들은 하천수에 함유된 성분들에 비해 시간적 변화가 적고 상대적으로 함량이 높아 환경에 대한 영향을 지속적으로 평가하는데 비교적 유효한 지구화학적 매개체로 알려져 있다[4].

퇴적물에 포함된 중금속 등의 유해물질은 환경의 변화에 따라 생지화학적 반응을 통해 수중으로 재용출되어 수생생물에게 악영향을 미치게 되는데, 특히 잔류성 및 생물농축성이 강한 유해화학물질은 저서생물에게는 물론이고 생물농축과정을 거쳐 먹이사슬을 통해 연결되어 있는 수생생물, 더 나아가서는 국민건강에 악영향을 미칠 수 있다.

우리나라 환경정책도 기존의 물, 대기, 토양의 관리와 더불어 수생태계의 구성요소인 퇴적물 오염에 따른 심각성을 인식하고 적절한 관리가 필요한 시점이다.

따라서 본 연구에서는 퇴적물의 적절한 관리에 필요한 오염현황평가와 오염방지에 중요한 기초 자료 제공을 목적으로 부산지역에서의 도시생활 및 산업 활동에 의한 퇴적물내 중금속 오염 거동과 오염정도를 파악하였다. 또한 하천을 지역별로 분류하여 퇴적물내의 유기물함량, 중금속의 장기적인 변화 추세를 조사하였다.

수영강 중상류 수계를 관류하는 하천들에서 채취된 퇴적물을 대상으로 수영만 유역의 도심 하천 오염실태를 파악하고 퇴적물에 의한 수질오염의 가능성을 평가하여 수영강의 적절한 관리와 친환경 하천 생태유지 관리에 기초자료를 제시하고자 하며, 수영만으로 유입되는 수영강, 석대천, 온천천 등 수영강 중, 하류지역의 하상퇴적물의 중금속 및 오염특성을 규명하여 수영강 및 수영만의 효율적인 수질관리를 위한 정보자료로 활용하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 연구대상지역

수영강은 석대천(7.75km, 28.65 $km^2$)을 품어 흐르는 본류(19.2 km, 198.82 $km^2$)와 온천천(14.13 km, 55.1 $km^2$)으로 구성되어 있으며, 온천천은 금정구 구서동에서 동래구 안락동 수영강과 합류하는 지점까지로 주오염원은 가정하수이다.

수영강 본류는 기장군 정관면에서 발원하여 금정구 두구동으로 유입, 회동수원지를 거쳐 흐르다가 석대동에서 석대천과 합류하여 흐른다.

유역면적이 넓고 요트경기장 및 광안리해수욕장과 인접한 수영만으로 유입되고 있다. 하류의 민락교는 동천과 마찬가지로 하천의 유량과 수질이 해수에 의해 좌우되고 있다.

따라서 본 연구에서는 수영강으로 유입되는 두 하천인 중류지역인 석대천, 온천천 5개지점, 하류지역인 수영2,3호교 2개지점을 포함하여 수영만 지역의 요트경기장 민락공원 2개지점 포함 총 9개 지점을 선정하여 퇴적물을 채취하였다.

시료채취 지점은 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다.

Fig. 1. Location of the sampling sites.

Table 1. Sample sites and number in Fig. 1

| River | No. | District |
|---|---|---|
| Suyeong river | S1 | Dongcheon bridge |
| | S2 | Banseok2ho bridge |
| | S3 | Seokdae district |
| | S4 | Wondong bridge |
| | S5 | Allak bridge |
| | S6 | Suyeong3ho bridge |
| | S7 | Suyeong2ho bridge |
| | S8 | Yacht racing |
| | S9 | Millak park |

### 시료채취방법

채취횟수는 2009년 분기별로(2,5,8,11월)총4회 채취하였고, 채취지점은 수영강 중류인 석대천, 동천교, 수영3,4호교, 요트경기장, 민락공원에서 이루어졌으며, 하상퇴적물의 시료채취는 스테인레스 모종삽 및 채니기를 사용하였으며, 한지점에서 최소 3군데 이상의 퇴적물을 모아 한개의 복합시료로 하였다.

각 채취지점에서 채니기 및 모종삽을 사용하여 퇴적물을 채취한 후 교란되지 않은 부분의 표층에서 2-5 cm 깊이 까지를 표층퇴적물로 하여 시료 보관은 폴리에틸렌비닐 용기담아 공기유입을 차단하고 저온상태로 빠른 시간내에 실험실로 운반하여 즉시 실험을 실시하거나 냉장 보관 후 실험하였다.

### 분석항목 및 분석방법

**중금속**(Cd, Cu, As, Hg, Pb, Cr, Zn, Mn)

Hg을 제외한 7개 항목의 중금속 분석을 위하여 토양오염공정시험방법에 의하여 각각의 채취지점에서 채취한 시료를 법랑제 또는 폴리에틸렌 밧트 위에 균일한 두께로 하여 직사광선이 닿지 않는 장소에서 통풍이 잘 되게 헤쳐 놓고 풍건시킨 다음, 눈금간격 2mm의 표준체로 체걸음한 시료를 균일하게 혼합하여 분석용 시료로 사용하였다.

현재 국내에서는 퇴적물에 대한 명확한 실험방법이 없어 퇴적물 중의 중금속을 분석하는데 있어 어떠한 방법을 이용하여 중금속을 추출하느냐가 중요한 쟁점이 된다.

본 연구에서는 토양오염공정시험방법의 0.1N HCL에 의한 용출시험 방법을 적용하여 분기별 중금속 변동 추이를 통한 변화를 살펴 보았다.

Cd, Cu, Pb과 Cr은 분석용 시료 10 g을 정밀하게 취하여 100mL 삼각플라스크에 넣고 0.1N HCl 50mL를 넣은 뒤에 항온수평진탕기(100회/분, 진폭10cm)를 사용하여 30℃를 유지하면서 1시간 동안 진탕한 다음 5B여과지로 여과한 여액을 원자흡광분광광도계(AAS, Varian spectraAA220)를 이용하여 분석하였다.

As는 분석용 시료 10 g을 정밀하게 취하여 100mL 삼각플라스크에 넣고 1N HCl 50mL를 넣은 뒤에 항온수평진탕기(100회/분, 진폭10cm)를 사용하여 30℃를 유지하면서 30분 동안 진탕한 다음 5B여과지로 여과한 여액을 원자흡광분광광도계(AAS, Perkin-Elmer 5100PC)로 측정하였다.

Hg은 채취지점에서 채취한 토양에서 돌, 나무 등 협잡물을 제거한 후 분석용 시료로 하였으며 수은환원기법을 사용하는 수은분석기(NIC SP-3D)를 이용하여 측정하였다.

### 화학적 산소 요구량(COD)

해양환경공정시험방법 중의 해저퇴적물편의 화학적산소요구량($KMNO_4$)법으로 실험하였다.

### 강열감량

토양내 유기물 함량 분석방법은 현재 국내 토양오염공정시험법에는 명시되어있지 않지만, 강열감량(또는 작열감량, L.O.I : Loss On Ignition), $H_2O_2$산화, 습식연소 등을 이용한 여러 측정방법들이 사용되고 있다. 본 연구에서는 여러 방법 중 가장 간단한 강열감량법(연소 손실)을 통해 유기물의 함량을 측정하였다.

유기물함량은 강열감량과 같은 뜻으로 호소 침전물내 함유되어 있는 유기물의 양을 백분율로 나타낸 것을 말한다.

전처리시료 적당량을 폐기물오염공정시험방법(환경부 고시 제2004-185호)에 따라 미리 무게를 잰 사기제 도가니 또는 접시에 시료 적당량(20 g 이상)을 취한 후 25% 질산암모늄용액을 넣어 적시고 천천히 가열하여 탄화시킨 다음 600±25℃의 전기로 안에서 3시간 강열 후 측정하였다.

### 총질소(Total-N), 총 인(Total-P)

국립환경과학원 호소 및 하천 퇴적물 분석 조사[5]에 준해 전처리 하여 분석하였다.

### 퇴적물의 부식화도

Hakanson(1983)의 방법인 질소와 강열감량의 비로서 비교하여 추정하였다.

## 결과 및 고찰

### 퇴적물 중금속 농도

본 연구대상지역의 퇴적물시료에 대한 중금속 오염도를 파악하기 위해 중금속 8항목을 분석한 결과를 Table 2에 나타내었다. 이는 앞서 기술한 바와 같이 각 지점별 각각 3개 ~ 7개의 시료를 채취하여 분석한 결과의 평균값이며, 9개 지점에 대한 분석항목별 지점별 농도를 토양오염우려기준과 비교하여 Fig. 2에 나타내어, 퇴적물 오염 특성 및 오염원을 추정하고자 하였다.

대부분 지점의 퇴적물에서는 토양오염우려기준을 초과하는 중금속 항목이 없었으나 S1지점인 동천교에서 Zn농도가 604.306 mg/kg으로 토양오염우려기준(가지역, 300 mg/kg)을 초과하는 것으로 나타났으며, 석대천 합류전지점인 S2지점에서도 Cu농도가 81.745 mg/kg(가지역, 50 mg/kg)으로 높게 나타났다.

그 외에 다른 중금속 항목은 모든 지점에서 토양오염우려기준 이하였으나 Cd이 S1지점 에서 0.937 mg/kg, Pb이 S3지점에서 44.301 mg/kg으로 타지점에 비해 상대적으로 높게 나타났다. Mn, Cr은 토양오염우려기준이 없으나 S2인 반석2호교지점이 Mn이 519.370 mg/kg, Cr이 S1지점에서 112.944 mg/kg으로 가장 높게 나타났고, Cu, As, Hg 항목도 모든 지점에서 토양오염우려기준보다 매우 낮은 수준으로 나타났다.

하상퇴적물에 대한 중금속 분석 결과 Cu의 경우 석대천의 합류전 지점인 S2지점(반석1호교) 부근에서 가장 높게 나타나고 석대천 합류지점인 S3지점에서도 높게 나타났는데 수영강 중류지역인 S4지점(원동교)까지 높은 농도 분포를 나타내었다. 반면 수영교 하류지역인 S7지점 부터 S9지점 까지는 낮게 나타났다. 계절적인 차이는 별로 없었으며 S2지점(반석1호교)을 제외하고 대체적으로 갈수기인 1, 2분기(겨울, 봄)오염도가 높게 나타났다.

Cd의 경우 S1지점(동천교)에서 0.937 mg/kg로 가장 높고 S2, S3지점에서도 비교적 높은 농도를 보이고 있다. Cu의 경

우와 비슷하게 S7지점(수영2호교)부터는 낮게 나타났다.

Pb은 S3지점에서 가장 높게 나타났으며, 석대천 전반에 걸쳐 높은 함량을 보이고 있으며, S6지점(수영3호교)까지 비교적 높은 함량을 나타내고 있다.

Zn의 경우는 S1지점 부근에서 604.306 mg/kg로서 매우 높게 나타났으며, 석대천은 전반적으로 높은 농도를 나타내고 있는데, 평균 함량은 156.093 mg/kg이다. 전 지점 통틀어 갈수기 때인 1, 2분기에 높은 농도분포를 나타내었다.

Mn의 경우 S2지점이 가장 높았으며, 석대천 지역이 비교적 높은 함량을 나타내었다. 망간의 경우 주성분 분석의 결과 모든 지역에서 다른 중금속과 함계 제1요인으로 추출되었다. 부산 지역의 하상퇴적물 내 인위적인 부화가 없었으며, 본래 토양 중 함유량이 높고 토양 내 Mn-oxides 산화물 형태로 존재하며 다른 중금속 및 양이온과 치환이 용이하여 상관관계가 있는 중금속이므로 오염원 추정에 큰 의미가 없는 것으로 보인다(Rose et al, 1979).

As는 S3지점에서 가장 높게 나타났다. 전체 하상퇴적물 시료에서는 평균 0.243 mg/kg으로 나타났으며 민락공원을 제외하고 비슷한 분포를 나타내었다.

Hg의 경우 S2지점이 0.406 mg/kg로서 가장 높았으며 S1지점도 0.324 mg/kg로서 비교적 높게 나타났다. 전체 시료에서 평균 함량은 0.215 mg/kg이다.

Cr의 함량은 S1지점에서 112.944 mg/kg으로 가장 높고 석대천과 온천천지점에서는 유사한 농도를 보였으며, 하류 지역인 S6지점에서 103.983 mg/kg로서 비교적 높게 나타났다. 전체 시료에서 평균 함량은 49.110 mg/kg이다. 전지점을 통틀어 장마기인 3분기를 제외하고 고른 오염도 양상을 보이고 있는데, 계절별로 퇴적물의 이동은 장마기 동안 현저하게 나타났으며 우기이후 퇴적물의 이동으로 중금속의 농도가 감소하였다. 갈수기인 겨울, 봄철에 높게 나타났고 장마기인 여름에 낮아졌다가 가을철에 다시 증가하였다. 대부분의 조사지점에서 장마기인 여름철에 오염도가 감소하는 경향을 보여주고 있는데, 이는 많은 강우를 기록한 후의 시료에서 농도가 낮아지는 것으로 보아 강우에 의한 퇴적물의 유실이 오염도에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

수영강과, 석대천, 온천천을 대상으로 이루어진 퇴적물의 중금속 함량 분석 결과 회동수원지 직하부 동천교 주변에서 채취한 시료(S1)에서 카드뮴, 아연, 크롬의 함량이 모두 높게 나타나고 있으며, 이 지점은 도시고속도로와 14번 국도가 교차하는 지역으로 아연, 구리 등과 같은 차량 통행과 깊은 연관성을 갖는 중금속의 높은 함량과 더불어 도시, 산업적 특성을 동시에 보여주는 복합적 오염원이 작용한 결과로 판단된다.

석대천에서 채취한 시료에서는 다른 지역의 시료들에 비해 상대적으로 높은 중금속 함량을 보이고 있다. 이는 석대천 상류에 위치한 폐자원 관련 업체 등의 영향이 동시에 작용한 결과로 판단된다.

석대천의 상류부는 농경지와 축산시설이 위치해 있으며, 또 반송지역의 중류부는 심각한 교통난에 의해 배출되는 자동차 배출가스와 밀집된 대규모 아파트 단지로부터 하천의 양 호안으로 토구로 부터 생활하수가 직접 유입되고 있어 하천의 수질이 심각한 상태이다[6].

따라서 석대천의 복합적인 오염원 합류에 의해 동천교 지점의 퇴적물 중금속 부화가 가장 큰 것이라 판단된다.

한편 교통량에 의한 오염이 우려되는 S4지점 부근의 퇴적물에서도 아연과 크롬의 함량이 높게 나타났다.

S6, S7지점의 경우 주 오염원이 주변 아파트 단지에서 발생하는 생활하수로 퇴적물 내 중금속 농도는 석대천 주변보다 훨씬 낮은 수준이며, 수영만으로 흘러오는 여러 지천들이 합류되는 지점으로 하수차집관거 설치와 지천의 수질개선 등으로 과거에 비해 퇴적물의 중금속 오염도가 감소한 것으로 나타났으며, 수영만지역인 S8, S9지점보다는 다소 높은 정도로 나타났다.

수영강은 1998년 수영하수처리장 2단계 가동으로 하수처리장의 방류수 수질이 개선되었고, 단계적인 하천정화사업과 퇴적물의 준설로 퇴적물내 중금속 농도가 1999년 이후부터 꾸준히 감소하고 있다. 수영강 수계는 2003년부터 하천정비사업이 진행 중이고, 온천천 또한 지속적인 복원사업의 추진으로 오염도가 매우 낮아지는 추세를 나타내고 있다.

Table 2. The concentration of heavy metals in stream sediment

(unit : mg/kg)

| Sampling site | | Heavy metals | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Cu | Cd | Pb | Zn | Mn | As | Hg | Cr |
| S1 | winter | 33.167 | 0.940 | 26.71 | 526.667 | 184.792 | 0.482 | 0.1270 | 88.431 |
| | spring | 45.050 | 1.425 | 17.45 | 894.833 | 201.167 | 0.402 | 0.7530 | 62.741 |
| | summer | 22.313 | 0.743 | 18.94 | 462.000 | 171.938 | 0.150 | 0.0170 | 48.092 |
| | fall | 2.773 | 0.638 | 19.10 | 533.725 | 255.000 | 0.014 | 0.3977 | 252.513 |
| | Avg | 25.826 | 0.937 | 18.50 | 604.306 | 203.224 | 0.262 | 0.3237 | 112.944 |
| S2 | winter | 70.542 | 0.322 | 32.83 | 136.020 | 225.958 | 0.368 | 0.0900 | 42.642 |
| | spring | 44.750 | 1.282 | 1.13 | 244.167 | 743.333 | 0.490 | 1.1130 | 3.361 |
| | summer | 130.625 | 1.140 | 33.25 | 173.125 | 444.250 | 0.000 | 0.2210 | 7.368 |
| | fall | 81.063 | 0.458 | 64.38 | 130.332 | 663.938 | 0.028 | 0.2010 | 34.099 |
| | Avg | 81.745 | 0.907 | 32.90 | 170.911 | 519.370 | 0.222 | 0.4063 | 21.868 |
| S3 | winter | 46.917 | 0.320 | 47.58 | 139.667 | 149.125 | 0.873 | 0.1030 | 51.480 |
| | spring | 64.350 | 0.993 | 22.05 | 246.500 | 163.458 | 0.837 | 0.1420 | 61.134 |
| | summer | 29.300 | 0.528 | 55.69 | 146.375 | 98.500 | 0.103 | 0.0550 | 23.272 |
| | fall | 25.250 | 0.350 | 51.88 | 70.388 | 124.000 | 0.006 | 0.0450 | 37.864 |
| | Avg | 41.454 | 0.548 | 44.30 | 150.733 | 133.771 | 0.455 | 0.0863 | 43.438 |
| S4 | winter | 58.250 | 0.748 | 7.46 | 295.500 | 60.375 | 1.373 | 0.1300 | 104.405 |
| | spring | 56.167 | 0.532 | 21.93 | 246.833 | 87.833 | 1.138 | 0.2530 | 57.940 |
| | summer | 0.645 | 0.385 | 11.88 | 91.500 | 141.750 | 0.335 | 0.0100 | 22.571 |
| | fall | 19.625 | 0.220 | 23.75 | 93.763 | 148.625 | 0.048 | 0.0290 | 60.682 |
| | Avg | 33.672 | 0.471 | 18.26 | 181.899 | 109.646 | 0.724 | 0.1055 | 61.400 |
| S5 | winter | 18.125 | 0.308 | 8.90 | 110.125 | 52.438 | 0.330 | 0.0740 | 100.801 |
| | spring | 10.667 | 0.707 | 10.35 | 238.500 | 115.042 | 0.568 | 0.2820 | 21.019 |
| | summer | 15.750 | 0.300 | 21.75 | 89.000 | 199.375 | 0.335 | 0.0180 | 34.500 |
| | fall | 17.750 | 0.440 | 32.50 | 121.438 | 108.125 | 0.038 | 0.0560 | 61.250 |
| | Avg | 15.573 | 0.439 | 18.38 | 139.766 | 118.745 | 0.318 | 0.1075 | 54.393 |
| S6 | winter | 25.250 | 0.450 | 6.93 | 133.000 | 48.542 | 1.228 | 0.5810 | 40.632 |
| | spring | 7.224 | 0.314 | 0.92 | 80.271 | 12.114 | 0.921 | 0.5430 | 19.210 |
| | summer | 2.760 | 0.200 | 40.63 | 40.630 | 257.625 | 0.615 | 0.0080 | 38.500 |
| | fall | 19.000 | 0.308 | 27.50 | 104.157 | 97.625 | 0.026 | 0.0610 | 317.588 |
| | Avg | 13.559 | 0.318 | 19.02 | 100.357 | 103.977 | 0.698 | 0.2983 | 103.983 |
| S7 | winter | 3.268 | 0.563 | 1.65 | 123.063 | 54.000 | 0.360 | 0.1930 | 8.138 |
| | spring | 0.213 | 0.100 | 0.33 | 0.178 | 11.000 | 0.582 | 0.4580 | 8.471 |
| | summer | 0.295 | 0.175 | 0.00 | 0.000 | 47.375 | 0.000 | 0.1870 | 0.000 |
| | fall | 0.210 | 0.126 | 3.10 | 4.044 | 64.750 | 0.034 | 0.2380 | 17.857 |
| | Avg | 0.997 | 0.180 | 1.27 | 35.259 | 44.281 | 0.244 | 0.2690 | 8.617 |
| S8 | winter | 0.768 | 0.340 | 0.00 | 14.625 | 16.553 | 0.763 | 0.2570 | 9.373 |
| | spring | 0.353 | 0.198 | 0.27 | 0.105 | 13.563 | 0.348 | 0.3640 | 8.218 |
| | summer | 0.815 | 0.124 | 0.01 | 18.500 | 31.000 | 0.000 | 0.1350 | 0.588 |
| | fall | 0.250 | 0.059 | 3.85 | 0.254 | 27.375 | 0.059 | 0.1670 | 62.712 |
| | Avg | 0.547 | 0.180 | 1.03 | 8.371 | 22.123 | 0.293 | 0.2308 | 20.124 |
| S9 | winter | 2.800 | 0.090 | 6.73 | 37.000 | 88.500 | 0.000 | 0.0110 | 8.231 |
| | spring | 0.250 | 0.150 | 0.33 | 0.120 | 19.250 | 0.080 | 0.4040 | 9.333 |
| | summer | 0.421 | 0.110 | 0.01 | 7.240 | 42.114 | 0.000 | 0.0000 | 0.321 |
| | fall | 0.195 | 0.025 | 0.05 | 8.562 | 33.658 | 0.000 | 0.0110 | 42.611 |
| | Avg | 0.917 | 0.094 | 1.78 | 13.231 | 45.881 | 0.020 | 0.1065 | 15.124 |
| Avg (S1~S9) | | 23.810 | 0.453 | 17.27 | 156.093 | 144.558 | 0.360 | 0.2150 | 49.110 |
| Max | | 81.745 | 0.937 | 44.30 | 604.306 | 519.370 | 0.724 | 0.4063 | 112.911 |
| Min | | 0.547 | 0.094 | 1.03 | 8.371 | 22.123 | 0.020 | 0.0863 | 8.617 |

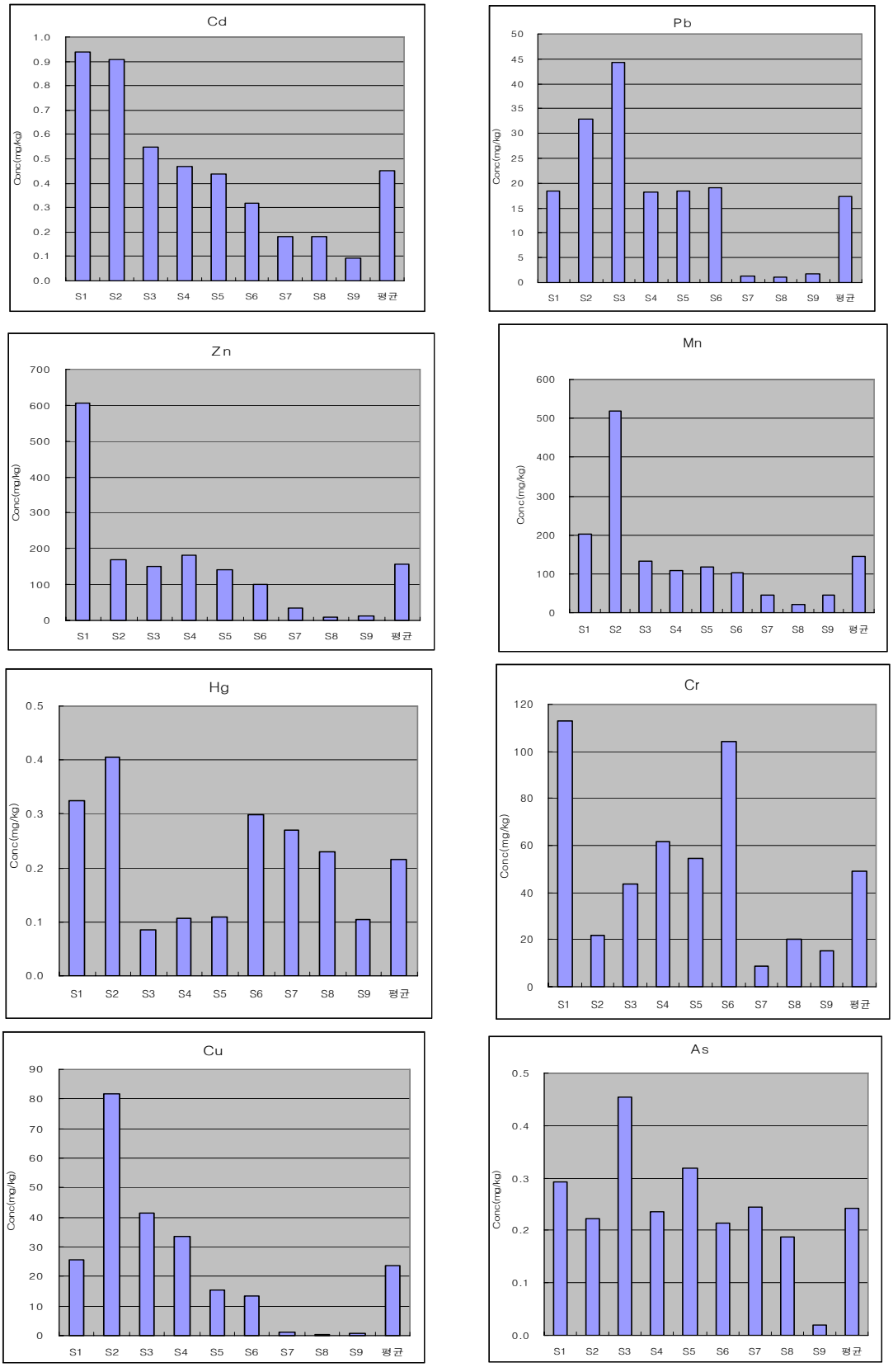



Fig. 2. The concentration of heavy metals in stream sediment.

퇴적물 중금속 타지역 비교 고찰

**서낙동강 수계 및 부산시내 하천 퇴적물 중금속 분포에 의한 비교**

본 연구대상지점인 수영강 하상퇴적물 중금속 분포결과와 서낙동강 수계 및 부산시내 하천 퇴적물 중금속 분포결과를 비교하여 Fig. 3에 나타내었다. 분석항목 중 Cr은 비교대상이 없으므로 생략하였다.

비교대상은 2009년 하구언 생태계모니터링, 부산시 하상퇴적물 조사지점 중 서낙동강수계 및 공업지역의 퇴적물 중금속 분석 결과이다.

본 연구결과와 절대적인 비교대상이 될 수는 없지만, 본 연구대상지역의 전반적인 퇴적물 중금속 분포 수준을 파악하기 위하여 비교대상으로 하였다.

그 결과 하상퇴적물 오염도 조사지역 중 공업지역은 타 지역에 비해 월등히 높은 농도를 나타내었고, 그 외 지역에서는 Cd, Hg만이 조금 높은 농도수준을 나타내었고, 반면에 Cu, Zn와 Mn, As는 전반적으로 유사하거나 낮은 농도 분포를 나타내었다. 지역별로 비교해보면 하구언 생태계 퇴적물 보다는 높은 농도 수준을 보이면서도 서낙동강 퇴적물과는 다소 유사한 정도의 오염농도 수준을 보이고 있다.

입도분포

퇴적물의 입도분석은 해양환경공정시험법 중 해저퇴적물편 제4장 제1항의 검사방법에 따라 입도분석기를 이용하여 입도를 직접 측정하였다. 퇴적물의 오염물질 농도는 입도분포와 밀접한 상관관계를 가지고 있다. 오염물질의 농도분포는 이러한 입도 차이에 따라 각각의 오염물질의 농도분포에 있어서 큰 차이를 나타내고 있다. 표층퇴적물시료에서 입도분석을 행하였는데 Fig. 3과 같이 표층퇴적물의 입도분포를 자갈(Cravel) 모래(Sand), 뻘(Mud)로 나타내었다. 표층퇴적물의 입도는 자갈이 1.10-26.60%로 각 지점별로 낮은 분포를 보이고 있다. 수영강 하류에 위치한 S6지점(수영3호교)에서 3.8-40.9%로 나타나 가장 높은 분포를 보였고, S4지점(원동교)에서 3.1-24.2%로 나타나 이 지역의 주 구성요소로 나타났다.

모래(Sand)는 전지역에 모두 나타났고, 2.9-78.6%로 정점별로 큰 차이를 보였다. 본 연구 지점에서 하류지역인 광안리해수욕장 부근 민락공원지점에서 평균 78.6%로 나타나 사질이 이 지역의 주 구성요소로 나타났다. 뻘(Mud) 또한 19.2-83.7%로 나타나 정점별로 차이가 많이 났고, 하류지역인 S8지점(요트경기장)에서 79.7-87.3%로 높은 함량을 나타내어 이 지역의 주 구성요소로 나타났는데, S8지점(요트경기장)에 이르는 구간은 수계의 정체성으로 인해 미립자의 퇴적이 많음을 알 수 있으며, S6지점(수영3호교)은 유속의 흐름이 원활하여 강우시 sand 등과 같은 퇴적물의 유입으로 인해 미립자의 퇴적물 보다는 모래 및 자갈 등과 같은 퇴적물이 퇴적되어 있음을 알 수 있다.

입도의 비율이 정점별로 차이가 많이 난다는 것은 정점간의 입도조성이 균질하지 않다는 것을 나타내는 것으로 본 연구에서는 자갈(Gravel)을 제외하고 중류지역에서는 모래와 뻘이 고른 분포상태를 나타내었고, 하류지역에서는 뻘(Mud)이 우세하게 나타나는 입도의 분포를 보였다.

퇴적물의 입도조성을 Wentworth classification에 의해 분류한 결과 수영강은 silt와 sand 가 주종으로 48.4%와 42.1%로 거의 비슷한 조성을 보이고 있으며, sand중에서는 fine이 10.0-56.8%로서 주종을 이루었다.

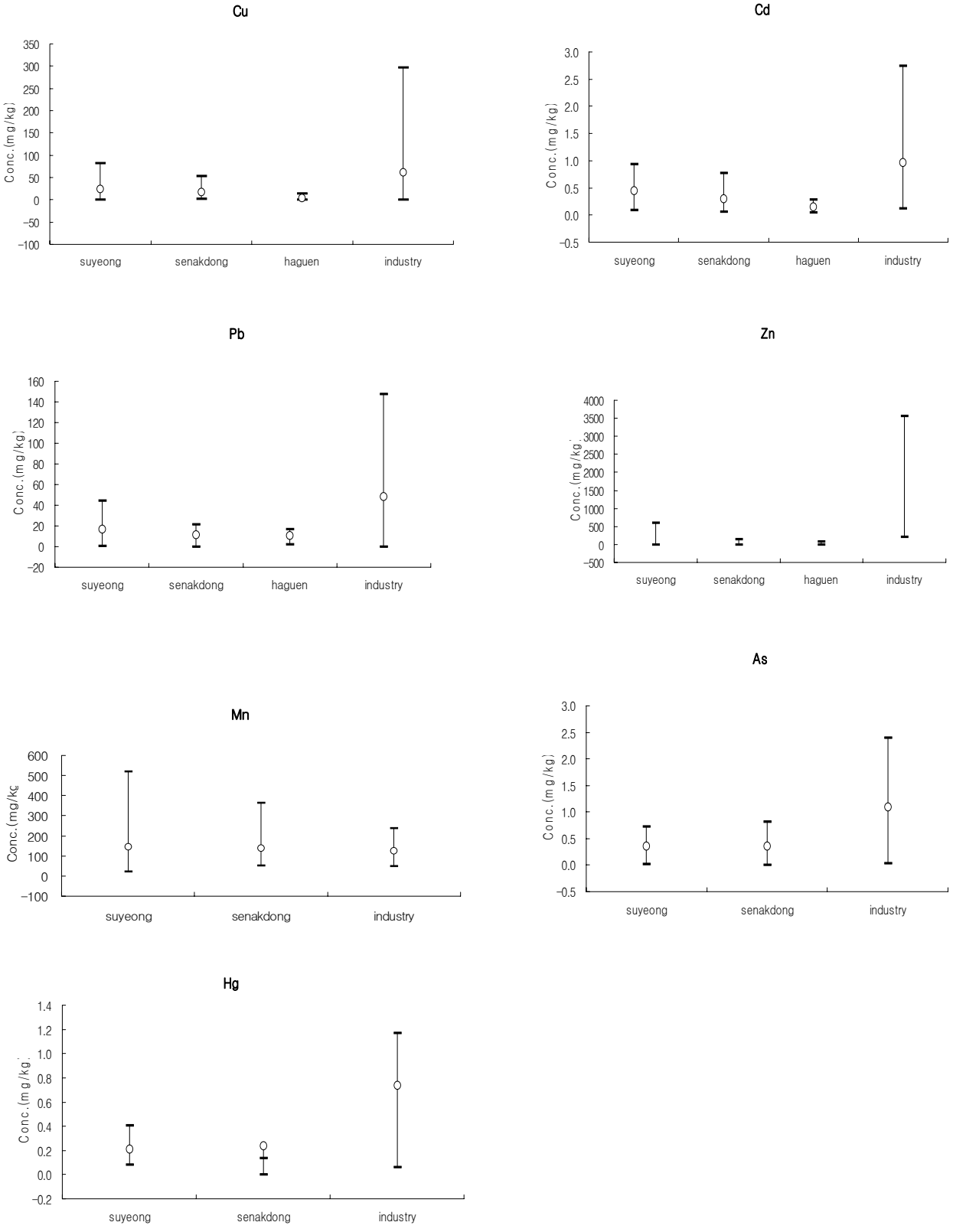



Fig. 3. The comparison of heavy metals distribution of suyeong river and Senakdong river etc..

Table 3. Distribution of textural parameter in the surface sediment (%)

| Sampling site | Distribution of textural parameter | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | gravel | coarse | sand medium | fine | silt |
| S1 | 9.4 | 10.9 | 10.1 | 25.1 | 42.7 |
| S2 | 7.7 | 8.6 | 7.1 | 20.9 | 55.9 |
| S3 | 5 | 3.4 | 7.8 | 49.3 | 33.9 |
| S4 | 14.1 | 7.9 | 7.4 | 36.8 | 46.4 |
| S5 | 5.5 | 11.1 | 8.0 | 29.1 | 46.4 |
| S6 | 26.6 | 9.8 | 6.7 | 19.7 | 37.6 |
| S7 | 6.5 | 5.8 | 4.3 | 13.8 | 69.6 |
| S8 | 1.1 | 2.1 | 3.2 | 10.0 | 83.7 |
| S9 | 2.2 | 9.2 | 12.7 | 56.8 | 19.2 |
| Avg (S1~S9) | 8.7 | 7.1 | 7.1 | 27.9 | 48.4 |

S1지점(동천교)는 coarse와 sand medium이 10.9%와 10.1로서 비슷하였으며, fine가 25.1%로서 주종을 이루며 강우전 후의 입자의 조성은 거의 변화가 없었다

석대천 합류전지점인 S2지점(반석2호교)는 S1지점과 비슷하게 coarse와 sand medium이 8.6%와 7.1%로서 비슷하였으며 fine가 20.9%로서 주종을 이루었다.

S4지점(원동교)도 coarse와 sand medium이 7.9%와 7.4%로서 비슷하였으며, fine가 36.8%로서 주종을 이루었는데, gravel이 14.1%로서 다른 지점보다 다소 높은 분포를 보였다.

S6지점(수영3호교)은 타 지점과 달리 미세입자들이 차지하는 비중이 적고 큰 입자들이 차지하는 비중이 커 gravel이 26.6%, coarse 9.8%, sand medium 6.7%로 조사되었다.

### 하상퇴적물의 유기물오염도 및 부식화도

수영강 각 하천의 하상퇴적물과 유기물함량을 간접적으로 나타내주는 COD, LOI(강열감량)의 농도와 저질의 환경 변화시 수층으로 용출될 수 있는 영양물질인 총질소와 총인의 조사결과를 Table 4에 나타내었다.

하상퇴적물의 유기물함량을 나타내는 COD, LOI는 퇴적물의 간접적인 오염지표로 이용될수 있는데, 분석결과 COD는 수영강으로 유입되는 석대천의 S2지점에서 37686 mg/kg으로 가장 높은 수치를 보였으며, S9지점이 10121 mg/kg으로 가장 적게 나타났다. 주변의 생활하수 및 오수가 유입되는 수영강 하류의 S6지점, S1와 S4지점의 하상퇴적물이 그 다음으로 비슷한 농도값을 나타냈다(Fig. 4).

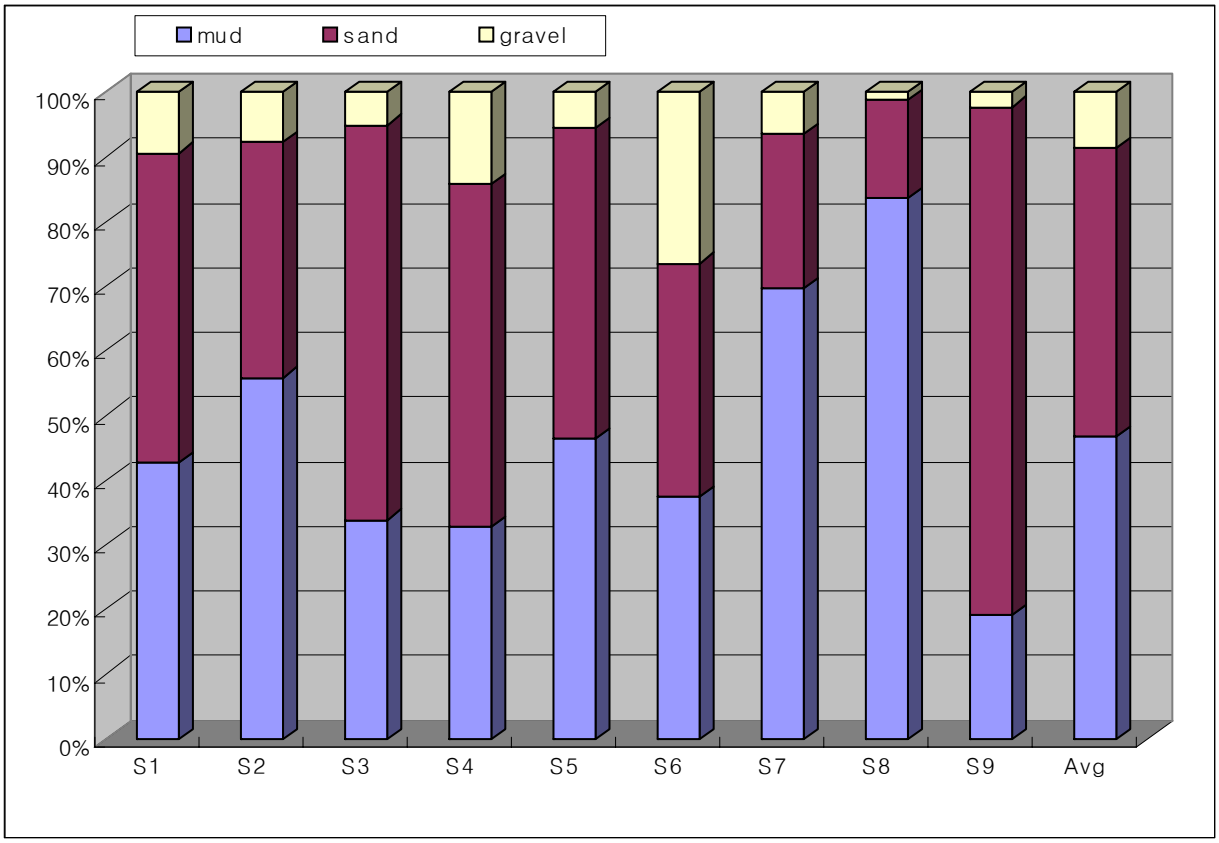
LOI는 하류지역인 S8지점과 S7지점이 가장 높게 나타났고, 그 다음으로 S2지점도 COD와 같이 높은 값을 나타내었다.

하상퇴적물의 영양염류인 T-N이 T-P보다 평균 4배정도 높았으며, T-N은 S1, S2가 높았고, T-P는 S2가 다른 하천보다 크게 높았으며, 하류지역인 S8, S9을 제외한 지역은 유사한 농도 분포를 보이고 있는데, 주변의 대규모 인구밀집지역으로부터 생활하수가 유입되기 때문으로 판단된다.

S2지점의 경우 유기물 오염도를 파악하기 위한 COD, T-N, T-P 3개 항목에서 다른 지점 보다 월등히 높은 농도 분포를 나타내었는데, 이는 이 지점부근에 공단배수가 유입되거나, 유속이 느려 수체의 정체로 오염물질이 장기간 퇴적된 원인으로 보인다(Fig. 5).

T-N, T-P의 경우 다른 하천의 하상퇴적물과 달리 S2는 T-N, T-P의 평균치가 각각 7450과 3160 mg/kg으로 높았으며, LOI도 3.8%로서 높게 나타났다.

퇴적물의 분해정도를 파악하기 위하여 Hakanson(1983)은 강열감량과 총질소의 비로서 부식화도를 구하였는데 퇴적물의 부식성은 질소나 인과 같은 영양염류의 용출 가능성을 고려할 때 좋은 기준이 될 수 있다. 이러한 부식성을 나타내는 방법으로 Hakanson은 탄소화합물과 질소의 함량비로 나타내었는데 유기화합물의 함량과 밀접한 관계를 갖는 강열감량 대 총질소 백분율의 비가 25이상일때 강부식성(Polyhumic)으로, 20이하일때 빈부식성(Oligohumic)으로, 그리고 20-25사이일때 중부식성(Mesohumic)으로 구분하여 부식도를 판단하였다. 수영강 퇴적물의 질소 함량은 0.07-0.75%로 나타났으며 강열감량은 1.1-4.5%로 나타났는데, 수영강 퇴적물의 대부분 지점에서 Oligohumic으로 나타나 유기물의 분해가 초기 단계로 부식이 서서히 진행되는 것으로 생각된다(Fig. 6).



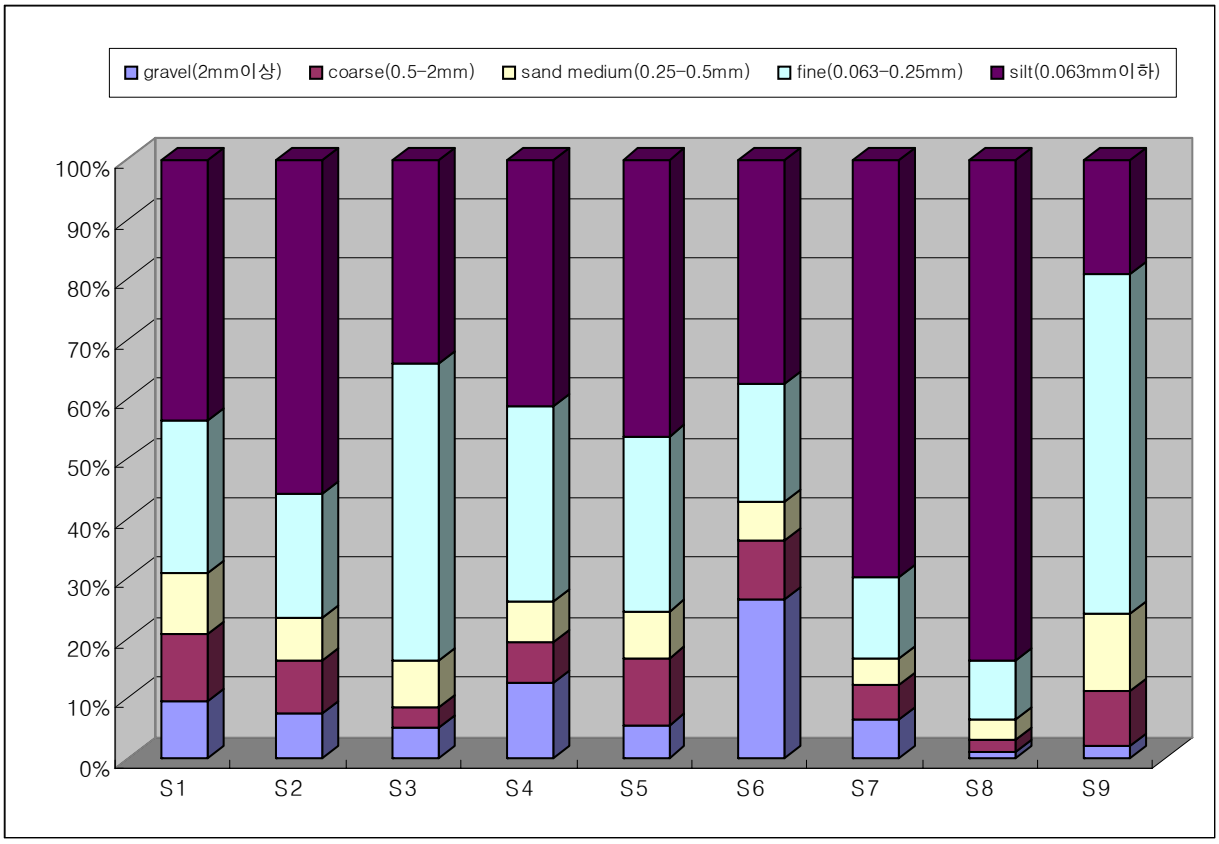




Fig. 4. Distribution of textural parameter in the surface sediment.

Table 4. Characteristics of sediments in streams in Suyeong river

| | COD ( mg/kg) | LOI (%) | T-N (%) | T-P ( mg/kg) | Humic level (LOI/T-N) |
|---|---|---|---|---|---|
| S1 | 15619 | 2.6 | 0.596 | 984.5 | 4 |
| S2 | 37686 | 3.8 | 0.745 | 3160.6 | 5 |
| S3 | 23247 | 2.9 | 0.387 | 1077.6 | 7 |
| S4 | 15731 | 2.5 | 0.329 | 934.2 | 8 |
| S5 | 22847 | 2.8 | 0.460 | 1351.1 | 6 |
| S6 | 27902 | 2.7 | 0.413 | 1743.9 | 7 |
| S7 | 23237 | 4.4 | 0.452 | 1180.7 | 10 |
| S8 | 27330 | 4.5 | 0.372 | 629.7 | 12 |
| S9 | 10121 | 1.1 | 0.073 | 175.5 | 15 |

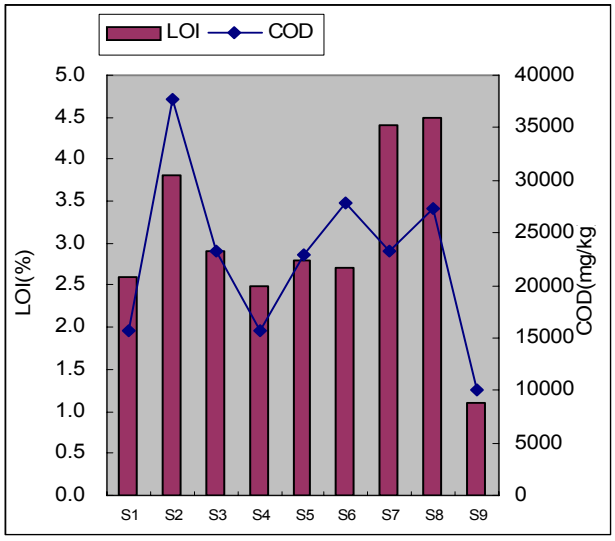



Fig. 5. LOI, COD of sediment in suyeong river.

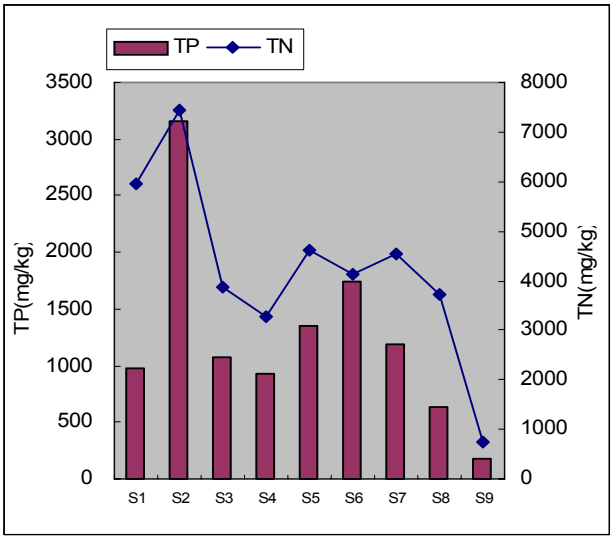



Fig. 6. T-P, T-N of sediment in suyeong river.

### 하상퇴적물의 지구화학적 특성

하상퇴적물은 오랜 기간 동안의 하천변화의 기록을 내포하고 있으므로, 하천에 대한 좋은 정보를 제공한다. 오염된 하상퇴적물은 하천 수질과 하천 생태계에 악영향을 미치기 때문에 미국과 캐나다의 퇴적물 환경준거치와 비교함으로서 퇴적물에 존재하는 유기물, 영양염류 및 중금속의 오염정도와 생물학적 피폐 가능성을 파악해 보았다.

따라서 미국 환경보호청과 캐나다 OME에서 제시한 퇴적물에 함유된 유기물, 영양염류와 중금속의 오염정도를 Table 5에 나타내었다.

이는 1)영향을 주지 않는 수준(비오염, NEL)

2)약간 영향을 주는 수준(중간 오염: LEL)

3)심각한 영향을 주는 수준(심한 오염: SEL)으로 분리하여 퇴적물 오염예방, 정화 및 처리를 포함하는 관리 책정선을 제시하였다.[7)]

Cu기준으로 볼때 수영강의 9개지점중 S1, S2, S3, S4의 하상퇴적물은 중간 오염수준에 있었으며, 심각한 영향을 주는 오염수준을 넘어서 있는 상태에 있는 지점은 없는 것으로 조사되

었다(Fig. 7).

Cd는 수영강의 9개지점중 S1, S2 2개지점만이 중간 오염수준인 0.6 mg/kg에 있었으며, 심각한 영향을 주는 오염수준을 넘어서 있는 상태에 있는 지점은 없는 것으로 조사되었다(Fig 8).

T-P의 경우 S2지점은 심각한 오염치 기준을 1.6배 넘어서는 3160.6 mg/kg으로 원인에 대한 정밀조사가 필요하며 전 지점들의 평균은 중간오염단계을 다소 넘어서고 있는 것으로 파악되었다(Fig. 9).

수영강 9개지점의 정밀조사 결과 LOI는 모든 지점이 비오염단계에 있었으며, 중간오염단계에 진입한 지점은 없었다.

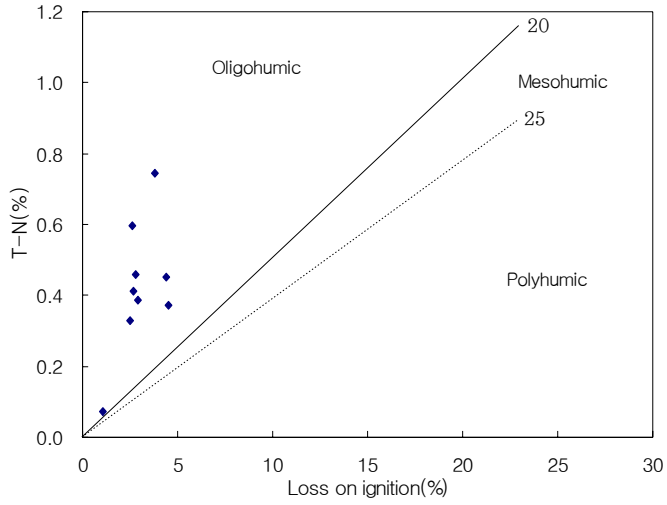



Fig. 7. Assessment of humic level with T-N & LOI sediment in suyeong river.

Table 5. Sediment quality criteria by the OME, USEPA

| Item | No Effect Level(NFL) | Lowest Effect Level(LEL) | Severe Effect Level(SEL) |
|---|---|---|---|
| As(mg/kg) | - | 6 | 33 |
| Cd(mg/kg) | - | 0.6 | 10 |
| Cr(mg/kg) | - | 26 | 110 |
| Cu(mg/kg) | - | 16 | 110 |
| Fe(mg/kg) | - | 2 | 4 |
| Pb(mg/kg) | - | 31 | 250 |
| Mn(mg/kg) | - | 460 | 1100 |
| Hg(mg/kg) | - | 0.2 | 2 |
| Zn(mg/kg) | - | 120 | 820 |
| TOC(%) | - | 1 | 10 |
| TKN(mg/kg) | - | 550 | 4800 |
| TP(mg/kg) | - | 660 | 2000 |
| Volatile Solids(%) | 5 | 5-8 | 8 |
| COD(mg/kg) | 40,000 | 40.000-80.000 | 80,000 |

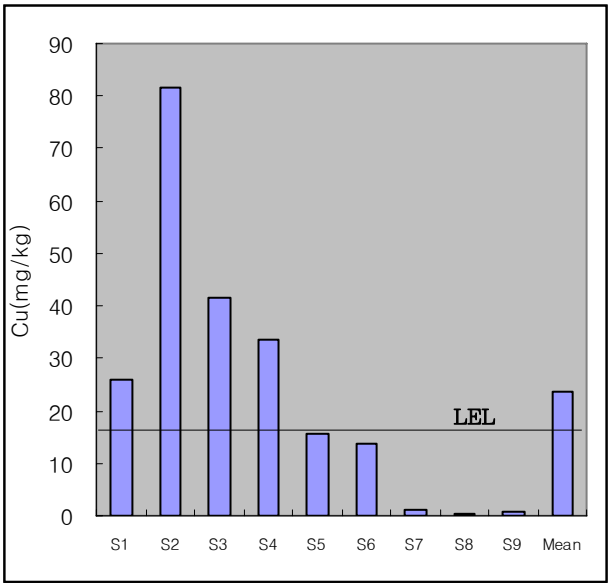



Fig. 8. Cu of sediment in suyeong river.

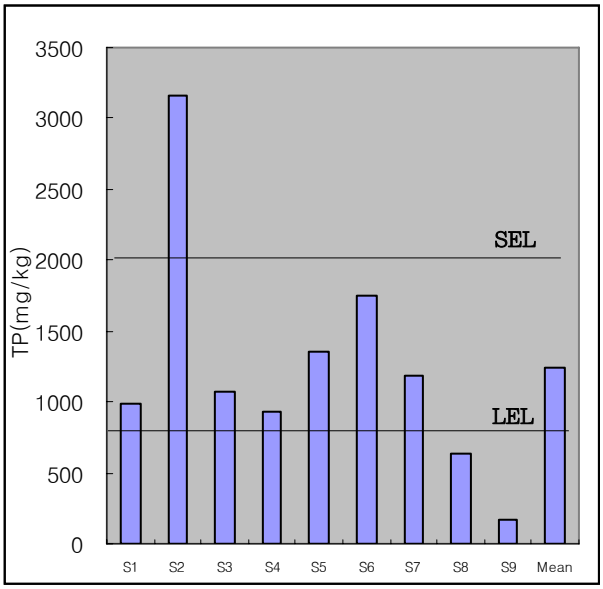



Fig. 10. T-P of sediment in suyeong river.

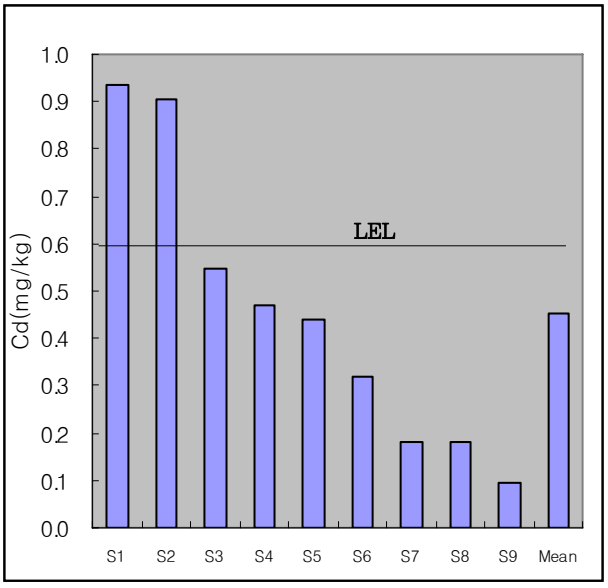



Fig. 9. Cd of sediment in suyeong river.

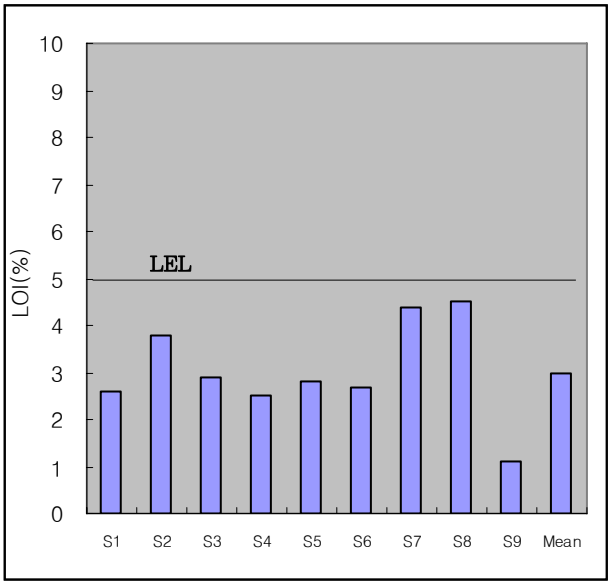



Fig. 11. LOI of sediment in suyeong river.

## 결 론

수영강 중, 하류지역 9개 지점에 대한 하상퇴적물을 채취하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 퇴적물의 중금속 함량 분석 결과 토양오염우려기준을 초과하는 중금속 항목이 없었으나 S1지점인 동천교에서 Zn농도가 604.306 mg/kg으로 토양오염우려기준(가지역, 300 mg/kg)을 초과하는 것으로 나타났으며, S2지점에서도 Cu 농도가 81.745 mg/kg(가지역, 50 mg/kg)으로 높게 나타났다. 동천교 주변에서 채취한 시료(S1)에서 카드뮴, 아연, 크롬의 함량이 모두 높게 나타나고 있으며, 석대천에서 채취한 시료에서도 상대적으로 높은 중금속 함량을 보이고 있다.

2. 서낙동강 수계 및 부산시내 하천퇴적물 중금속 농도 분포를 비교한 결과 하상퇴적물 오염도 조사지역 중 공업지역은 전 항목에서 타지역에 비해 월등히 높은 농도를 나타내었고, 그 외 지역에서는 Cd, Hg만이 조금 높은 농도수준을 나타낸 반면에 Cu, Zn와 Mn, As는 전반적으로 유사하거나 낮은 농도 분포를 나타내었다. 지역별로 비교해보면 하구언 생태계 퇴적물 보다는

높은 농도 수준을 보이면서도 서낙동강 퇴적물과는 다소 유사한 정도의 오염농도 수준을 보이고 있다.

3. 입도의 비율이 정점별로 차이가 많았으며 자갈(Gravel)을 제외하고 중류지역에서는 모래와 뻘이 고른 분포상태를 나타내었고, 하류지역에서는 뻘(Mud)이 우세하게 나타나는 입도의 분포를 보였다. 퇴적물의 입도조성을 Wentworth classification에 의해 분류한 결과 수영강은 silt와 sand 가 주종으로 48.4%와 42.1%로 거의 비슷한 조성을 보이고 있으며, sand중에서는 fine이 1.9~56.8%로서 주종을 이루었다.

4. 하상퇴적물의 유기물함량을 간접적으로 나타내주는 COD, LOI 및 영양물질인 총질소와 총인의 조사 결과 COD는 석대천의 S2지점에서 37686 mg/kg으로 가장 높은 수치를 보였으며 S9지점이 10121 mg/kg으로 가장 적게 나타났다. LOI는 하류지역인 S8과 S7지점이 가장 높게 나타났다. 하상퇴적물의 영양염류인 T-N이 T-P보다 평균 4배정도 높았으며, T-N은 S1, S2지점이 높았고, T-P는 S2지점이 다른 하천보다 많이 높았으며, 하류지역인 S8, S9지점을 제외한 지역은 유사한 농도 분포를 보이고 있다.

5. 퇴적물의 분해정도를 파악하기 위하여 Hakanson(1983)은 강열감량과 총질소의 비로서 부식화도를 구하였는데 수영강 퇴적물의 질소 함량은 0.07-0.75%로 나타났으며 강열감량은 1.1-4.5%로 나타났는데, 수영강 퇴적물의 전 하천에서 Oligohumic으로 나타나 유기물의 분해가 초기 상태임을 알 수 있었다.

6. 수영강 9개지점의 정밀조사 결과 LOI는 모든지점이 비오염단계에 있었으며, 중금속 에서는 중류지역에서 중간오염단계에 진입한 항목이 많았으며, 심각한 영향을 주는 SEL수준을 넘어서는 항목은 없었으나, 총인의 경우 S2지점은 심각한 오염치 기준을 넘어서는 단계에 있어 원인에 대한 정밀조사가 필요하며, 전 지점들의 평균은 중간오염단계을 다소 넘어서고 있는 것으로 나타났다.

7. 본 연구결과를 토대로 수영강 퇴적물의 효율적인 관리방안을 제안해보면, 하천에 유입된 유해물질이 퇴적물에 축적되어 방치될 경우 수질악화 및 수생태계 파괴의 원인이 될 수 있으므로 유해물질의 제거 목적으로 준설을 실시할 경우 환경, 생태학분야 전문가 및 민간단체의 종합적 검토작업이 필요할 것으로 판단된다. 향후 하천수질관리 계획 수립시 점, 비점오염원 관리에 역점을 두어 전개 되어야 하며, 처리과정에서 2차 오염이 발생하지 않도록 근본적인 퇴적물 관리가 필요하다.

8. 중금속 오염도가 높은 동천교 및 석대천의 합류 전, 후지점에 위치한 유해중금속 배출원에 대한 지도·단속이 요망되며 지속적인 모니터링 추진 및 하천정화 사업 하수관거 및 하수처리장 지속 확충, 질소, 인 제거 위한 고도하수처리시설 효율향상이 필요하다.

## 참 고 문 헌


1. 오강호, 김주용, 고영구, 윤서태, 신상은, 박배영, 문병찬, 김해경, "광주광역시 하천의 표층퇴적물에 대한 지구화학적 특성과 오염", 한국지구학회지,24(4): pp.346~360(2003).
2. 이창희, 김은정. "호소 및 하천 오염퇴적물 관리방안". 한국환경정책 평가연구원. pp.1~47 (1998).
3. USEPA, Selecting Remediation Techniques for Contaminated Sediment, EPA, 823~B93~001(1993).
4. Alloway,B,J. Heavy metals in soils, Chapman & Hall, Glasgow, p368(1995).
5. 이인선, 박선구, 신찬기, 유재근, 허인애, 류덕희, 신동석, 홍기협, 박원철, "호소 및 하천 퇴적물 조사" 국립환경연구원(1997)
6. 부산발전연구원, "부산의 도시하천 환경정비 방안"(2002).
7. 이창희, 김은정. "호소 및 하천 오염퇴적물 관리방안". 한국환경정책 평가연구원, pp.1~47(1998).
8. 곽문용, "산업부산물을 이용한 중금속 오염퇴적물의 복원", 경북대학교 석사학위 논문(2007).
9. Mantei EJ. Heavy metal content in the stream sediments adjacent to a sanitary landfill. Environmental Geology and Water Sciences, 13, pp.51~58(1989).
10. Horowitz AJ. A Primer on Sediment~Trace Element Chemistry, Lewis Publishers, p136(1991).
11. 전병진, 김용성, 권오근, 김덕희, 송영상. "도시지역 하천 퇴적물의 특성 연구". 충북보건환경연구원보, p13(2004).
12. 정숙경, 안상수, 이재철, 김연희, 박강수, 김동수, "광주지역 하천 퇴적물의 특성조사 및 관리 방안", 광주연구원보, pp.8~9,14(2007).
13. 오강호, 고영구, 김주용, 김해경. "화순천의 퇴적환경 및 퇴적물과 하천수의 지구화학적 특성". 한국환경과학회지, 11, pp.881~895(2002).
14. 김미화, 박성원, 김통권, 이평구, 김철운, "부산 수영강 하상퇴적물 및 수질의 중금속 오염",한국지질자원연구원 보고서, pp.381(2004).
15. 곽영주, 박종수, 전용성, 임종성, 김현기, 박진영, "인천지역 하천의 하상퇴적물 오염도 조사", 인천연구원보,. pp.309~311, 313~314(2006).
16. 김동수, 정원삼, 서광엽, 민경우. "광주천의 효율적인 관리방안에 관한 연구". 광주광역시정연구모임 과제 연구보고서, pp.4~5(1999).
17. 권영택, 이찬원, 안병영, 윤지훈. "준설해역 오염방지를 위한 하천 퇴적물의 오염 특성 규명" 대한환경공학회 춘계발표회 논문집(1997).
18. 박성원, 조호영, 이평구, 연규훈, 신성천, "회동저수지 부근 하상퇴적물의 중금속 오염특성 고찰",한국지질자원연구원 보고서, pp.205~206(2004).
19. 이창희, 유혜진. "수서퇴적물 환경기준 개발에 관한 연구", 한국환경정책평가연구원 연구보고서, pp.29~399(2000).