The Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment 17(1) 63 ~ 75 (2007)

보건환경연구원보

자연형 하천 온천천의 물환경 특성 조사연구(II)

권동민† · 유은희 · 손정원 · 정재원 · 윤나나 · 권기원 · 빈재훈

환경조사과

Characteristics of Aquatic Environment in Close-to-Nature Oncheon Stream

Dong-Min Kwon†, Eun-Hee Yoo, Jun-Won Son, Jae-Won Jeong, Na-Na Yun
Ki-Won Kwon and Jae-Hun Bin

Environmental Research Division

Abstract

In order to improve the water environment at urban streams in Korea, several river restoration projects have been initiated for past few years. This study evaluated the impact of diverting water application at the riverhead of Oncheon stream through the monitoring program for several water quality and ecological parameters. Various water quality parameters and ecological items such as benthic macroinverterates were investigated between September, 2005 to December, 2007. Analysis indicated that the application of diverting water from Nakdong river to Oncheon stream distinctly improved several water quality parameters such as PH, BOD, TN, TP and concentrations of heavy metals. Low flow augmentation also improved ecological indices such as the diversity index of benthic macroinvertebrates. In conclusion, releasing additional water from head water of Oncheon stream improved various water environmental characteristics.

Key Words : Water quality, Marcroinvertebrate, Oncheon stream

서 론

성장우선시대의 하천관리는 도시화에 따라 하천유역에서의 토지이용과 생산 활동이 증대되면서 치수와 이수 목적의 대규모 공사 진행에 의해 하천환경이 크게 훼손되어 하천이 지닌 고유한 자연환경 기능이 저하되면서 하천수질오염 확대, 소하천의 건천화, 하천공간의 황폐화 등으로 하천본래의 환경기능은 상실하게 되어 생물이 살 수 없는 단순 하수도로 전락하게 되었다. 그러나 경제발전으로 생활에 여유가 생기면서 하천환경에 대한 관심이 높아지고 훼손된 하천을 원래의 자연스러운 하천 상태에 가깝게 복원하여 하천을 시민의 휴식공간으로 이용하고자 하는 요구가 늘어나고 있으며 이 요구에 대한 결과는 자연형 하천의 복원으로 가시화되어 가고 있다. 이미 선진국에서는 하천과 관련된 생태적 복원운동과 복원사업 등이 수행되고 있다. 특히 독일, 스위스, 미국, 일본 등의 하천 복원에 대한 다양한 사례들이 국내에 소개되고 있으며, 스위스의 '하천재생(Wederbelebung)' 독일의 '하천의 재자연화(Renaturierung der Gewasser)' 일본의 '다자연형하천가꾸기' 등의 내용에 대해서는 일부 검토가 이루어졌다. 이러한 외국의 자연형하천 개념에 대해 국내에서도 그 필요성에 대한 공감대가 형성되어 훼손된 하천환경을 재생, 복구하고자 하는 시도 및 연구가 이루어지고 있다[1].

부산광역시에서도 대표적 도심하천인 온천천을 시민의 품으로 돌려주기 위한 온천천 살리기 운동 확산 등에 의해 자연형 하천으로 복원되고 있다. 온천천은 경상남도와 부산광역시 경계지역에 위치하고 있는 금정산에서 발원하여 유로 14.85km를 형성하면서 도심 밀집 주거지역을 관류하는 지방2급 하천으로서 하상경사가 급한 산지하천이며 14개의 지천으로 구성되어있다.

지난 10여 년간 다수의 계획이 수립되어 하천정비를 추진해 오면서 주로 치수기능을 고려한 원활한 유수를 위하여 저수로를 콘크리트라이닝으로 하여 하천환경을 악화시켜 생물이 살지 못하는 죽은 하천이었으나 온천천유역에 1999년부터 콘크리트 하천바닥을 걷어내는 등 자연형 하천 복원사업을 시작하여 하수관거를 정비하고 자연형 하천공법을 적용한 다양한 호안기법과 수질정화를 위한 접촉산화법 등이 적용되어 하천환경이 개선되어 최근 많은 시민이 이용하고 있으나, 갈수기에는 하수 차집에 따른 하천유지 용수 절대부족 현상으로 자연하천의 기능을 상실하고 있다[2]. 온천천의 건전한 생태계와 쾌적한 환경을 유지하기 위해 2005년 11월부터 낙동강 물을 온천천 유지용수로 공급하여 수질개선 및 생태복원을 추진하고 있다.

본 연구에서는 온천천의 하천환경을 효과적으로 관리하기위

† Corresponding author. E-Mail: kdm8438@busan.go.kr
Phone: 051-758-6123, Fax : 051-757-2879

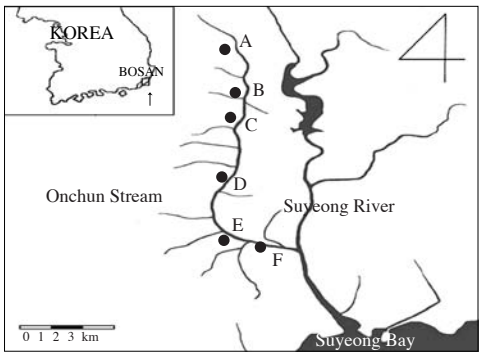

Fig. 1. Map of the Oncheon stream showing sampling sites
A : 청룡2호교, B : 태광산업, C : 금정구청
D : 온천교, E : 세병교, F : 연안교

하여 하천유지용수 공급 전, 후를 중심으로 이화학적 수질뿐만 아니라 하상퇴적물, 부착조류, 저서성대형무척추동물 등 물환경 생태의 변화 및 상호관계를 다면 평가하여 자연형 하천 복원사업 후의 성과와 향후 예상될 문제점 및 다른 자연형 하천 조성 시 하천환경 평가의 기초 자료로 활용하고자 하였다.

연구 방법

조사지점 및 기간

본 연구의 조사지점으로는 온천천의 기점인 청룡교를 기준으로 주변 환경을 고려하여 상류 2개 지점(하천유지용수로 낙동강물이 통수되는 청룡 2호교, 태광산업 지점), 중류 2개 지점(금정구청, 온천교 지점), 하류 2개 지점(세병교, 연안교 지점) 총 6개 지점을 선정하여 2005년 9월부터 2007년 11월까지 월 1회 측정하였으며, 부착조류, 저서성 대형무척추동물, 하상퇴적물과 같은 생태조사는 상, 중, 하류의 각 1개 지점인 청룡2호교 , 금정구청, 세병교 지점을 분기 1회 조사하였다.

시료채취 및 조사방법

이화학적 수질조사

수질의 이화학적 성분분석을 위한 조사로서 수온, pH, DO항목은 현장 측정기(YSI-556MPS)를 이용하여 현장에서 바로 측정하였고, BOD, TN, TP 등은 시료채취 후 즉시 실험실로 운반하여 수질오염공정시험방법(환경부, 2002년)[3]에 의거하여 분석하였다,

유량조사

유량조사는 온천천 상류인 A, 중류 C, 하류 E 지점에서 거리별 수심 및 유속을 측정하여 환경부 수질오염공정시험방법에 따라 유량을 산정하였으며, 유속은 회전식 유속계(Valeport BFM00[1])을 이용하여 조사하였고 거리별 수심은 목자판을 이용하였다.

부착조류조사

시료는 수심 10 ~ 30 cm에 있는, 지름 10~20 cm 정도의 상면이 편평한 돌을 여러 개 선택하여 윗면을 솔로 문질러 증류수로 씻어 내리며 채집하였다. 채집한 시료는 Lugol's solution으로 고정하고 permanganate method (Handey, 1974)[4]에 준해 산 처리한 후, pleurax로 영구표본을 제작하여 광학현미경(Zeiss Axioskop 40, 1,000) 하에서 검경하였다.

계수는 각 지점마다 세포수의 총계가 500개체 이상이 될 때까지 세었으며, 규조의 길이, 폭, 횡조선 등을 측정, 각의 모양, 세포 세부형태로서 종을 동정하였으며, 정준(1993)[5], Watanabe (2005)[9]의 분류도감을 참고하였다.

수질오염 평가는 부착규조의 상대빈도를 이용하여 Watanabe *et al.* (1990)[7]의 DAIpo (diatom assemblage index to organic water pollution) 방법으로 평가하였으며, 이는 규조를 호오탁성종, 광적응성종, 호청수성종의 3군으로 분류한 후 각각의 군이 점하는 상대 출현률로부터 다음 식에 따라 오탁도를 구하였다.

$$DAIpo = 50 - \frac{1}{2}\left(\sum_{p=1}^{m} Sp - \sum_{x=1}^{n} Sx\right)$$

$\sum_{p=1}^{m} Sp$ = 그 지점에서 출현하는 m종의 호오탁성종(Sp)의 규조군집 중에서 상대출현률의 합

$\sum_{x=1}^{n} Sx$ = 그 지점에서 출현하는 n종의 호청수성종(Sx)의 규조군집 중에서 상대출현률의 합

DAIpo치는 100에 가까울수록 수질이 청정하고, 0에 가까울

Table 1. Relationships among the DAIpo, BOD5 and saprobic degrees.

DAIpo치	BOD (mg/L)	오탁계급
100 ~ 85	0.625 >	극빈부수성수역(xs)
85 ~ 70	0.625 ~ 1.25	β-빈부수성수역 (β-os)
70 ~ 50	1.25 ~ 2.5	α-빈부수성수역 (α-os)
50 ~ 30	2.5 ~ 5.0	β-중부수성수역 (β-ms)
30 ~ 15	5.0 ~ 10.0	α-중부수성수역 (α-ms)
15 ~ 0	10.0 <	강부수성수역 (ps)

수록 오염되었음을 나타낸다. 또한 DAIpo치와 BOD 및 오탁계급의 관계는 아래와 같다.

하상퇴적물 조사 : 조사항목은 pH, 강열감량, 구리, 카드뮴, 납, 아연, 망간, 크롬, 비소 등 9개 항목에 대해 분석하였으며, 시료채취는 모종삽으로 채취하여 폴리에틸렌 봉지에 담아 밀봉한 후 실험실로 운반하였으며 중금속 시료의 전처리는 토양오염공정시험방법[8]에 의하여 시료를 통풍이 잘되는 곳에서 건조시킨 후, 2mm 표준체(10메쉬)에 통과한 시료를 분석용 시료로 하였고, 수소이온농도는 pH미터(Orion SA720)를 사용하여 측정하였으며, 강열감량은 600±25℃에서 30분간 강열하고 방냉하여 무게를 잰 증발접시에 시료 적당량을 취한 후 25%질산암모늄액을 넣어 600±25 에서 3시간 강열하고 방냉한 후 무게를 측정하였다. 그리고, 구리, 카드뮴 등 중금속은 원자흡광광도계(Varian Spectra AA 220FS)를 이용하여 분석하였다.

저서성 대형무척추동물 조사 : 저서성대형무척추동물 채집은 계류용 정량채집망인 Suber net (30×30cm, 망목 0.5mm, (Hauer et al., 1995)[9]을 사용하여 각 조사지점에서 가능한 한 미소서식처(riffle, run, pool)를 구분하여 3회씩 정량 채집하였다. 채집된 표본은 현장에서 10%포르말린으로 고정하였으며 실험실로 운반한 후 sorting하여 10%에탄올에 보관하였으며, 생물 종의 분류는 윤(1995)[10], 윤(1998)[11] 정(2003)[12], Dennis(1979)[13], Merritt and Cummins (1996)[14]를 참조하여 실시하였다. 종 수준까지 분류가 어려운 종은 외부형태가 확연히 구별되는 종을 대상으로 임의로 과나 속 수준에서 sp 1. 등의 형태로 정리하였다.

저서성대형무척추동물의 군집구조를 파악하기 위해 채취시기 및 지점별로 개체수와 종수, 종다양성지수, 우점도지수를 비교하였다.

종다양성지수는 Shannon - wiener function (H´) (Pielou,1977)[15] 에 따라 산출하였으며 산출식은 아래와 같다.

$$H' = \Sigma(ni/N) \cdot \log(ni/N)$$

(ni : i 종의 개체수, N : 총개체수)

우점도지수는 McNaughton's dominant index (DI) (McNaughton, 1967)[16]를 이용하여 산출하였으며 산출식은 아래와 같다.

$$DI = (n1 + n2)/N$$

(n1 : 우점종, n2 : 아우점종, N : 총개체수)

결과 및 고찰

이화학적 수질

온천천의 수질변화 추이

Fig.1.은 자연형 하천으로 복원된 온천천의 지난 십 여년간의 BOD농도 변화 추이를 나타낸 것으로 Fig. 1.에서 보는 것과 같이 '94년도에는 온천천 최하류인 F지점은 BOD 78.7 mg/L, TN 21.0 mg/L, TP 1.248 mg/L 로 하천이라기보다는 하수도에 가까운 생물이 살지 못하는 죽은 하천이었으나, '95년부터 민관합동 온천천 살리기 운동 시작, '98년 자연형 하천정비 계획 및 설계실시, '99년에는 온천천 유역의 하수차집관거의 설치 완료 등 본격적으로 자연형 하천의 정비를 시작하면서 하천바닥 및 호안의 콘크리트구조물을 걷어내고 자연석, 나무, 흙 등을 이용해 자연형 식생호안을 설치하는 등 자연형 하천으로 복원되면서 2001년에는 최 하류의 F지점은 BOD 11.1 mg/L, TN 5.88 mg/L, TP 0.95 mg/L로 급격히 수질이 회복되기 시작하였으며, 갈수기 하천유지량 부족을 해소하기 위해 2005년 11월 이후 낙동강 물을 도수하여 통수하기 시작하면서부터 수질은 더욱 개선되어 2007년 11월 현재 하천수질환경 2등급(BOD 3 mg/L)이하의 수질상태를 유지하고 있는 것으로 조사되었다.

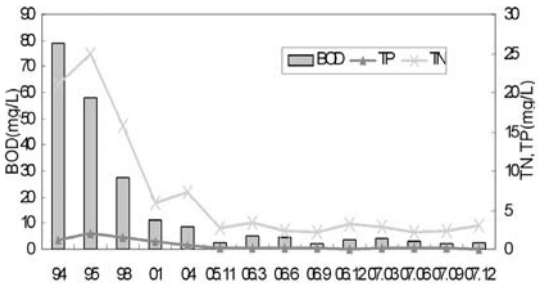

Fig. 2. Variation of water quality in F site of Oncheon stream

하천유지용수 공급 전, 후 구간별 수질변화

온천천은 자연형 하천 조성사업의 일환으로 하수관거정비 등으로 인하여 수질은 급격히 개선되었으나 특히, 갈수기에는 하천유지 수량의 절대적 부족으로 하천 본래의 기능을 상실하고 있어 생태계의 장기적 안정성과 쾌적한 하천환경을 유지하기 위하여 하천유지용수로 낙동강 물을 도수하여 2005년 11월부터 현재까지 30,000 ~ 50,000 m^3/일을 온천천 상류인 A지점에서 3곳에서 분산하여 통수하고 있다. Fig.3.은 하천유지용수 공급 후 구간별 수질상태를 비교분석한 결과를 나타낸 것이다.

Fig.3.에 나타난 것과 같이 하천유지용수로 낙동강 물을 통수하기 전, 후의 구간별 BOD농도 변화 조사결과 외부오염원이 거의 없는 최상류의 A지점은 낙동강 물 통수 전에는 BOD 0.4mg/L의 1급수의 수질을 나타내고 있으나 인구가 밀집한 도심지인 중, 하류(B, C, D, F)지점으로 내려가면서 수질이 악화되고 있는 것으로 나타났다. 그러나, 최상류인 A지점에 낙동강 물을 통수한 후 Fig. 3.에서 보는 것과 같이 통수 전 보다 중, 하류로 내려가면서 수질이 많이 향상된 것으로 나타났으며, PH, DO는 다소 상승한 것으로 조사되었다. 이는 낙동강에 서식하는 조류의 영향인 것으로 추정된다.

구간별 BOD의 농도는 통수 전 과는 달리 하류로 내려갈수록

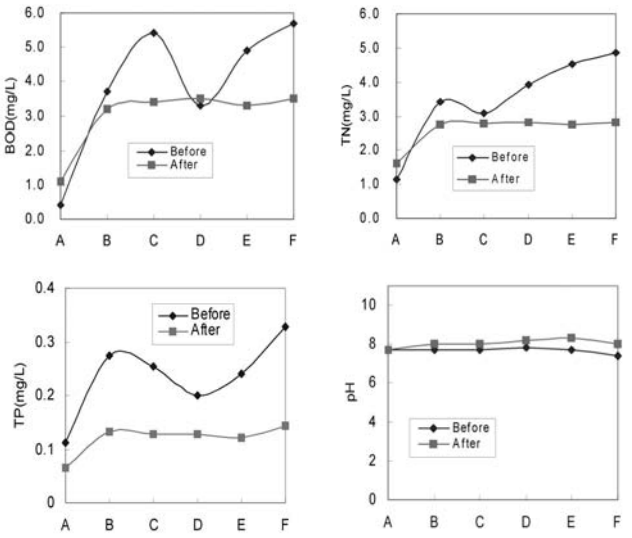

Fig. 3. Variation of water quality at each site after the flowing of supporting Water

수질이 악화되는 현상은 거의 나타나지 않았으며, TN, TP, 역시 BOD와 유사한 경향을 보이고 있는 것으로 조사되었다.

이는 하천유지용수로 상수원수 2 ~ 3등급인 낙동강 물을 30,000 ~ 50,000 m^3/일 공급함으로서 하천유지용수량의 증가에 의한 수질개선효과와 하천유지용수 공급 전을 기준으로 해서 실시한 비점오염원에 의한 생활오수의 유입 차단 정비 효과에 의한 것으로 추정된다.

강우 시 구간별 수질변화

Fig. 4.는 온천천의 강수 시의 구간별 수질변화를 지점별로 비교 조사한 결과를 나타낸 것이다. 시료채취는 2006년 3월 19일 강우 초기에 실시하였으며 이 때 강우량은 19 mm였다. Fig. 4.에서 보는 것과 같이 연구조사기간 동안 평균 BOD농도는 각 지점별로 거의 차이가 없었지만, 강우 시에는 중, 하류로 내려가면서 중류인 C, D지점의 경우 BOD는 21 ~ 29 mg/L로 평균 BOD인 3 ~ 4 mg/L 보다 6 ~ 7배 증가하였으며, 하류로 내려가면서 그 증가폭은 더 커져 최 하류인 F지점에서는 평상시보다 25배나 증가한 BOD 74 mg/L로, 생물이 살 수 없는 하수와 같은 수질 상태를 나타내고 있는 것으로 조사되었다.

그리고, 국립환경연구원 2000년 하천수질의 계절변화에 따른 특성연구[17]에 의하면 부산시의 온천천이 강우 시 수질이 가장 급격히 악화되는 대표적인 하천인 것으로 조사되었다.

이는 온천천은 하상경사가 심한 산지하천이며, 중, 하류에 주로 산재해 있는 지천은 하천이라기보다는 복개된 하수구로 이용되고 있으며, 하수 차집관거는 합류식으로 되어있어 강우 시 특히 초기 강우 시에는 하수관거 이물질이 일시에 온천천으로 유입되어 수질이 급격히 악화되는 것으로 추정되며 중, 하류지점의 하수관거 정비가 분류식으로 완전히 정비가 되지 않을 경우 강우 시에는 똑 같은 현상의 반복이 예상되므로, 하류의 경우 온천천의 자연형 하천 보전 및 물환경 개선을 위해 우수배제를 위한 분류식 하수관거의 정비가 우선되어야 할 것이다.

지점별 유량변화

하천유량 조사는 상류 A, 중류 C, 하류 E 각 1개 지점씩을 선택하여 측정하였으며, 상류 A지점은 온천천의 기저유량을 측정하기위하여 통수지점인 청룡 2호교 상류에 있는 A지점을 선택하였다. 조사 시기는 2007년 2월, 5월, 8월, 12월로 분기별로 각 1회 조사하였다. 현재 온천천은 하천유지량 부족을 해소하기 위해 2005년 11월 이후 낙동강 물을 도수하여 평일 30,000 m^3/일, 토 · 일요일은 50,000 m^3/일 통수되고 있다.

Fig. 5.는 4차에 걸친 온천천 유량 조사결과를 나타낸것으로 하천유지용수가 공급되지 않는 상류 A지점은 1,500 ~ 3,200 m^3/일, 하천유지용수가 공급되고 있는 중, 하류의 C, E

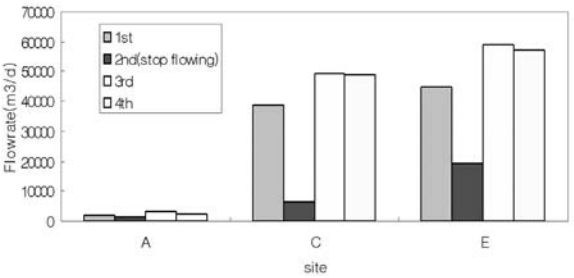

Fig. 5. Variation of flowrate at each site of Oncheon stream

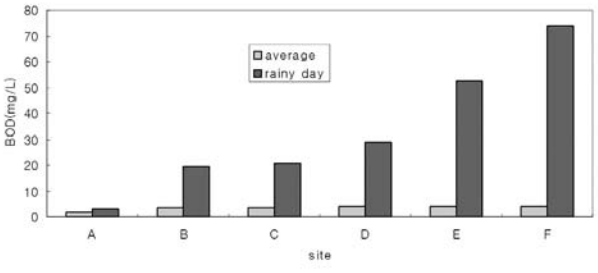

Fig. 4. BOD variation of rainy day in the each site of Oncheon stream

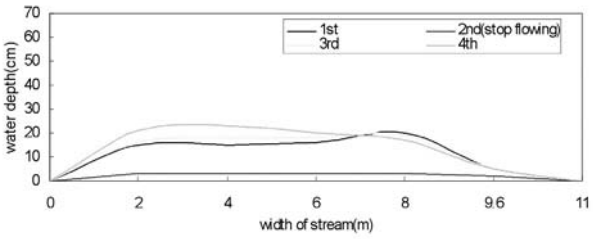

Fig. 6. variation of the depth of water in C site of Oncheon stream

지점은 각 39,000 ~ 49,000 m³/일, 45,000 ~ 59,000 m³/일로 조사되었으며 하류 E지점의 유량이 중류인 C지점보다 다소 많은 것으로 나타났다. 이는 하류 E지점은 감조하천으로 해수가 유입되는 지점으로 조석간만의 차와 하천바닥의 복류수 및 지하수량 변화 등에 의한 것으로 추정된다.

조사시기별로 중, 하류의 유량을 분석한 결과 갈수기인 1차가 비갈수기인 3, 4차에 비해 유량이 적은 것으로 나타났다. 이는 갈수기에는 같은 양의 하천유지용수가 공급되더라도 하천바닥으로 침투되는 유량의 증가 등에 의한 하천환경변화에 기인하는 것으로 사료되며, 하천유지용수의 공급이 중단되었던 2차 유량조사결과 중 하류인 C, E 지점의 유량은 6,200 ~ 19,000 m³/일로 하천유지용수 공급 전, 후의 차이는 약 30,000 ~ 40,000 m³/일 인 것으로 조사되었다.

Fig.6.는 중류인 C지점에서 하천유지용수 공급 중단 시와 공급 시의 수심을 비교한 결과로 30,000 m³/일 하천유지용수 공급시 공급 중단 시에 비해 약 12 ~ 16 cm 정도 수심이 높아지는 것으로 나타났다.

부착조류

부착조류는 하천생태계의 일차생산자로서 수생식물이나 광합성 세균들과 함께 중요한 수계의 구성원이다. 이들은 특히 수질이나 유속과 같은 물리 화학적 요인에 대단히 민감하여 하천수계의 생물학적 변동을 대변하는 중요한 지표생물중의 하나이다. 따라서, 본 연구에서는 부착조류를 이용해 하천수질 및 생태계 변화를 조사하고자 하였으며, 조사기간은 2007년 2월 ~ 12월까지 분기 1회 총 4회 조사하였으며, 조사지점은 청룡교 상류인 A, 중류인 금정구청의 C, 하류인 세병교 E지점 3개 지점을 조사하였다.

부착조류 조사결과 2월 A지점에서 확인된 부착규조는 11속 13종으로, 제1우점종은 호청수성종인 *Achnanthes lanceolata*로 출현율은 47.4%였고, 제2우점종은 호청수성종인 *Fragilaria capucina*로 출현율은 24.8%였다.

C지점에서 확인된 부착규조는 11속 15종으로, 제1우점종은 광적응성종인 *Stephanodicus hantzschii f. tenuis*로 출현율은 44.5%였고, 제2우점종은 광적응성종인 *Navicula cryptocephala*로 출현율은 19.3%였다. 또 E지점에서 확인된 부착규조는 9속 13종으로, 제1우점종은 광적응성종인 *Stephanodicus hantzschii f. tenuis*로 출현율은 48.2%였고, 제2우점종은 호오탁성종인 *Nitzschia palea*로 출현율은 19.4%였다.

5월에는 A지점에서 확인된 부착규조는 14속 22종으로, 제1우점종은 광적응성종인 *Gomphonema parvulum*으로 출현율은 24.2%였고, 제2우점종은 광적응성종인 *Cymbella mesiana*로 출현율은 17.8%였다. 5월 C지점에서 확인된 부착규조는 9속 12종으로, 제1우점종은 호청수성종인 *Cocconeis placentula*로 출현율은 61.3%였고, 제2우점종은 호오탁성종인 *Nitzschia palea*로 출현율은 15.9%였다. 또한 E지점에서 확인된 부착규조는 7속 11종으로, 제1우점종은 호오탁성종인 *Navicula subminuscula*로 출현율은 73.3%였고, 제2우점종은 호오탁성종인 *Nitzschia palea*로 출현율은 10.1%였다.

8월의 A지점에서 확인된 부착규조는 6속 8종으로, 제1우점종은 호청수성종인 *Cocconeis placentula var. lineata*로 출현율은 48.9%였고, 제2우점종은 호청수성종인 *Cocconeis placentula var. euglypta*로 출현율은 30.7%였다. C지점에서 확인된 부착규조는 10속 19종으로, 제1우점종은 호청수성종인 *Cocconeis placentula var. lineata*로 출현율은 24.0%였고, 제2우점종은 광적응성종인 *Navicula cryptocephala*로 출현율은 13.2%였다. 8월 E지점에서 확인된 부착규조는 6속 12종으로, 제1우점종은 광적응성종인 *Gomphonema parvulum*으로 출현율은 41.9%였고, 제2우점종은 호청수성종인 *Cocconeis placentula var. lineata*로 출현율은 14.4%였다.

12월의 A지점에서 확인된 부착규조는 4속 8종으로, 제1우점종은 호청수성종인 *Gomphonema angustum*으로 출현율은 21.8%였고, 제2우점종은 호오탁성종인 *Gomphonema pseudoaugur*로 출현율은 20.0%였다. 12월 C지점에서 확인된 부착규조는 8속 18종으로, 제1우점종은 광적응성종인 *Gomphonema parvulum*으로로 출현율은 33.0%였고, 제2우점종은 호오탁성종인 *Nitzschia amphibia*로 출현율은 12.4%였다. 또 12월 E지점에서 확인된 부착규조는 8속 14종으로, 제1우점종은 광적응성종인 *Gomphonema parvulum*으로 출현율은 28.0%였고, 제2우점종은 호청수성종인 *Cocconeis placentula var. lineata*로 출현율은 16.8%였다. 온천천 3개 지점(A, C, E)에서의 2월, 5월, 8월 및 12월에 조

Table 2. Variation of DAIpo at each sampling site in the Oncheon stream.

	Feb. 2007			May. 2007			Aug. 2007			Dec. 2007		
	A	C	E	A	C	E	A	C	E	A	C	E
DAIpo	96.9	55.5	48.9	53.6	74.5	43.4	99.1	71.5	71.8	66.9	32.3	49.9
Saprobic degree	xs	α-os	β-ms	α-os	β-os	β-ms	xs	β-os	β-os	α-os	β-ms	β-ms
BOD5	0.2	5.2	4.3	2.0	5.0	5.6	0.4	2.2	2.3	1.2	3.1	2.8
Number of species	11	11	9	14	9	7	6	10	6	4	8	8
Number of genus	13	15	13	22	12	11	8	19	12	8	18	14

사된 부착규조류의 DAIpo치(유기오탁지수)를 Table 2.에 나타내었다.

2월과 8월의 A지점의 수질이 가장 깨끗한 극빈부수성수역(xs)으로 나타났으며, BOD5 0.2~0.4 mg/L의 결과와도 일치하였다. 5월의 금정구청뒤, 8월의 금정구청뒤와 세병교 지점은 β-빈부수성수역(α-os)으로 나타났으나, BOD_5 값은 2.2~5.0 mg/L로 일치하지 않았으며, 2월의 C지점과 5월과 12월의 A지점은 β-빈부수성수역(α-os)으로 나타났으나 A지점만 BOD_5 1.2~2.0 mg/L로 일치하였다. 또한 2월의 E와 5월의 E지점 및 12월의 C와 E지점은 β-중부수성수역(β-ms)으로 조사되었으며, BOD_5는 2.8~5.6 mg/L로 거의 일치하였다.

BOD_5 값과 DAIpo 오탁지수가 일치하지 않은 몇몇 경우를 고려해 볼 때, 채수 시점의 일시적인 이화학적 수질만으로는 하천의 종합적이고 평균적인 수질을 나타내기에는 미흡함을 알 수 있으며, 생물검정법에 의한 수질평가가 병행되어야 함을 알 수 있다.

하상퇴적물

하상퇴적물은 일명 저질이라고도 하며 하천 등의 수저 퇴적물과 표층토를 말하며 이는 수질환경내의 화학적, 기계적 및 물리적 분해과정의 산물로 여러 가지 오염물질이 축적되어 수질과 더불어 수역 오염 현상을 파악하는 중요한 지표가 된다[18]. 특히, 저질은 그 수역에 장기간 체류하기 때문에 유동적인 하천수 성상을 누적적으로 나타낸다고 볼 수 있어 일정 기간의 오염 상태를 반영하는 오염지표로 가치가 있으며 또한 수질의 상시 감시의 미비점을 보완하는 의미를 갖는다[19~21].

저질중의 중금속은 규산염 점토광물에 의한 흡착, 유기체의 분해과정에 의해 생성된 유기산과 강한 결합, 휴민의 일부에서 농축된 상태로 존재하는 등 물리적 및 전기적 결합에 의해 존재하기 때문에 일단 중금속으로 오염된 저질이 자성화될 경우에는 각종 중금속류의 용해도가 증가되어 유해도는 더욱 심화되기도 한다. 그러므로 저질중의 중금속오염에 관한 기본적인 해결책을 모색하기 위해서는 저질에 대한 중금속 분포상태를 정확히 파악할 필요가 있다[22]. 따라서, 본 연구에서는 온천천의 하상퇴적물에 함유된 유해 중금속 함량 및 강열함량 등을 분석하여 온천천의 환경오염 예방 및 그 정화대책 수립을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

pH

pH는 생물의 존재를 위한 중요한 환경적 변수로써 오염되지 않은 물의 pH는 중성근처를 가진다. 그러나 토양의 경우, 토양을 구성하는 광물질의 종류에 따라서 약간 염기성 혹은 산성을 지니게 된다. 또한 pH는 pE(산화/환원 전위)와 더불어 토양 내에 있는 여러 무기물 및 유기물들의 존재형태에 영향을 끼쳐 토양 내에 존재하는 미생물에게도 영향을 미친다. 또한 pH에 따라서 퇴적물 속에 포함되어 있는 중금속들의 용출도 달라진다. 즉, 낮은 pH에서는 퇴적물의 용출율이 높아져 수질에도 악영향을 끼칠 수 있다.

Table 3.은 연구기간동안 온천천 하상퇴적물 평균오염도의 조사결과를 나타낸 것으로 pH는 6.3 ~ 6.7정도의 중성을 나타냈으며 하류로 내려갈수록 pH는 다소 감소했고, 우리나라 논토양의 평균 pH 5.7[23] 보다는 다소 높은 것으로 나타났다.

그리고, 부산시 주요 12개 하천의 하상퇴적물 pH 6.9~8.824)와 서울시 중랑천 pH 6.8~7.1[25]보다는 다소 낮은 것으로 조사되었으며, 본 조사에서 측정되어진 pH값으로 볼 때 온천천 하상퇴적물의 pH는 오염되지 않은 값의 범위 내에 있는 것으로 나타났다.

강열감량

강열감량은 퇴적물을 높은 온도에서 태울 때 줄어드는 질량을 말하는 것으로 일반적으로는 퇴적물 속에 포함되어 있는 유기물의 양에 대한 간접지표로 쓰인다. 즉, 높은 강열감량은 곧 그 시료 속에 많은 유기물이 포함되어 있음을 의미한다고 하겠다.

유기물량이 많은 퇴적물은 먼저 퇴적물 자신이 강물 속에 있던 유기물질에 의해서 오염되어 있음을 나타내는 동시에 다른 많은 오염물질을 흡착, 저장하고 있을 수 있으며 환경조건에 따라서 다시 오염물질을 물속으로 용출시킬 가능성을 가지고 있기도 하는 것이다.

본 연구에서 조사한 온천천 퇴적물의 강열감량을 구간별 조사결과 상, 중류인 A, C지점은 약 1%, 하류인 E1, E2는 2 ~ 2.8% 정도로 하류에서 배 이상 증가한 것으로 나타났다. 하류 E1지점은 하천 중심구간이며, E2지점은 구석진 지점으로 E1은 2%, E2는 2.8%로 시료채취지점에 따라 차이가 큰 것으로 조사되었다. 이는 하류 E1지점의 경우 강우 시 지천인 사직천의 오염된 월류수 침전 퇴적물들이 유속에 의해 자연정화가 잘 이루어지는데 비해 E2지점은 구석진 곳이라 유속이 거의 없어 잘 정화되지 않기 때문인 것으로 추정된다.

보다 지속적인 자연형 하천유지를 위해서는 하류의 경우 유속이 정체되는 지점은 부분적 준설이 필요한 것으로 조사되었다. 그러나 전반적 하상퇴적물의 오염정도는 안영의 등[26]이 조사한 한강퇴적물의 강열감량 3.1 ~ 15.12%, 권영택 등[27]이 조사한 창원 남천 하상퇴적물의 강열감량 14.1%보다는 훨씬 낮은 수준인 것으로 나타났다.

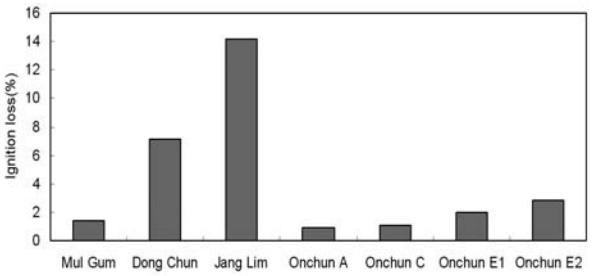

Fig. 7. Comparision of ignition loss of Oncheon stream and other stream sediments in Busan

그리고 Fig. 7.는 부산시 보건환경연구원에서 2006년도 4분기에 조사한 부산시 관내의 하천들에 대한 강열감량과 온천천 하류인 E지점들과의 비교결과를 나타낸 것이다. Fig. 5.에서 보듯이 공단지역 내에 위치한 장림천과 도심하천인 동천의 강열감량은 각 14.2%, 7.1%로 온천천 하류인 E지점들 보다 유기물오염도가 상당히 높은 상태이며, 부산시 하상퇴적물 중 가장 양호한 곳 중의 하나인 낙동강 물금지역의 강열감량 1.4% 보다는 다소 높지만 부산지역 12개 하천 20개 지점의 평균 강렬감량인 7.3%보다 훨씬 낮은 양호한 상태를 유지하고 있는 것으로 조사되었다.

우리나라의 하상저질에 대한 기준은 아직 없지만 US EPA의 퇴적물오염도 지침[28]에 의하면 강열감량이 5%이하일 경우는 오염이 되지 않은 상태, 5 ~ 8%사이의 경우에는 약간 오염된 상태, 8%이상은 심하게 오염된 상태로 분류하고 있으므로 EPA지침에 따르면 온천천의 하상퇴적물은 오염되지 않은 상태인 것으로 조사되었다. 이는 1995년부터 2003년까지 실시된 온천천 정비사업계획에 의해 하상준설 등에 의한 하천정비의 결과로 하상퇴적물의 오염도가 개선되었기 때문인 것으로 판단된다.

중금속

일반적으로 중금속의 존재형태와 용출특성은 물의 산화/환원전위, pH 등에 따라서 달라진다. 미립자 표면에 흡착된 금속은 물속에 녹아 있던 중금속이 점토 등의 표면에 전기적으로 흡착된 것으로 그 결합력이 약하여 퇴적물 입자의 교란이나 수층의 pH, 중금속의 농도변화에 의해 쉽게 이동될 수 있다. 탄산염의 형태로 존재하는 중금속은 수층의 pH가 낮아지면 쉽게 용출된다. 금속 산화물과 공침된 중금속은 주로 점토 표면에 철이나 망간 산화물과 공침되어 있어 혐기성 상태로 될 때 용출 가능성이 크다. 유기물 형태의 유기금속은 플랑크톤이나 유기물에 흡착된 중금속 또는 유기물 분해에 의해 유화물로 존재하는 중금속으로 호기성 상태에서 용출가능성이 크다. 또한 일반적으로 산성도가 늘어난 하천의 경우 중금속은 많이 용출된다. 즉, 침전물에 함유된 중금속류는 지천의 자연환경, 물리적, 화학적 영향에 따라 상부의 수층으로 장기간에 걸쳐 용출되며 잠재적인 수질오염 원인이 된다.

온천천 지점별 하상퇴적물의 중금속조사결과는 Table 3.에서 보는 것과 연구기간동안의 구리 평균농도는 1.615 ~ 8.959 ㎎/㎏으로서 이유대 등[29]이 보고한 낙동강 하구의 2.3 ~ 16.2 ㎎/㎏, 문동열[30]이 조사한 전주 만경강 유역 저질토의 0.18 ~ 8.86 ㎎/㎏과 박종석[31]이 보고한 청주시 석남천 저질의 2.2 ~ 11.6 ㎎/㎏과 유사한 것으로 조사되었다.

구리는 인체 내에서 조혈보조 성분으로서 불가결한 원소로 알려져 있으며, 뉴질랜드에서는 어류 및 어류제품에서 30.0 ㎎/㎏ 이하로 규제하고 있다[32]. 토양 중에 과량 존재할 경우 농작물 생육에 폐해를 일으키는 것으로 알려져 있으며, 농작물재배를 제한할 수 있는 논토양 중 구리 농도는 125 ㎎/㎏이상으로 정하고 있다.

납의 평균농도 범위는 5.602 ~ 8.391 ㎎/㎏으로서 김주원[33]이 보고한 인천지역 하상퇴적물의 9.00 ~ 44.8 ㎎/㎏과 박종석[31]이 보고한 청주시 석남천 저질의 ND ~ 49.1 ㎎/㎏보다는 낮으며, 문동열 등[30]이 조사한 전주 만경강 유역 저질토의 0.21 ~ 11.92 ㎎/㎏과 유사한 것으로 나타났다. 납은 오염되지 않은 토양 중에도 비교적 다량인 2 ~ 200 ㎎/㎏ 정도 함유되며, 미국 EPA의 오대호 저질에 대한 기준[34]에서 오염부하를 받기 시작하는 함량이하로 거의 오염되지 않은 상태인 것으로 판단된다.

카드뮴의 평균농도 범위는 0.045 ~ 0.080 ㎎/㎏으로서 김주원33)이 보고한 인천지역 하상퇴적물의 0.03 ~ 0.90 ㎎/㎏과 박종석[31]이 보고한 청주시 석남천 저질의 ND ~ 1.04 ㎎/㎏, 문동열 등[30]이 조사한 전주 만경강 유역 저질토의 ND ~ 0.092 ㎎/㎏보다는 낮거나 유사한 것으로 조사되었으며, 미국 오대호 저질기준[34]에서 제시한 카드뮴의 기준을 보면 오염을 받지 않은 저질내의 자연함유량이 0.6 mg/kg정도이므로 오염이 않된 상태인 것으로 판단된다.

망간의 평균농도 범위는 88.0 ~ 105.0 ㎎/㎏으로서 특별한 망간의 배출오염원이 없는데도 높은 값을 보인 것은 망간은 주로 지질에 기인하며 토양이나 저질에서 불용성의 이산화망간으로 존재하는데 혐기성상태에서 Mn^{+4}이 Mn^{+2}로 환원하여 쉽게 용해가 되기 때문이다.

송희일 등[35]이 조사한 경기도 신천의 저질의 98.1 ~ 439.0 ㎎/㎏, 서미연 등[36]이 보고한 안양천 퇴적물의 100.8 ~ 725.0 ㎎/㎏과 어수미 등[37]이 보고한 서울시 인근의 한강 지천 하상저질의 272.0 ~ 970.8 ㎎/㎏보다는 훨씬 낮은 것으로 나타났다.

한편 Table 4.에 나타난 바와 같이 미국 EPA의 오대호 저질에 대한 기준[34]에서도 망간의 자연함유량은 400 ㎎/㎏정도로 규정하고 있어 온천천의 하상퇴적물의 망간 오염도는 아주 낮다고 할 수 있겠다.

아연의 평균농도 범위는 11.4 ~ 43.9 ㎎/㎏으로서 김주원[33]

Table 3. Average concentration of pH and heavy metals in the sediment of Oncheon stream at each site during the study period (unit : mg/kg, dry basis)

Site \ Parameter	pH	Pb	Cu	Cr	Cd	Zn	Mn	As
A	6.7	5.602	1.615	0.104	0.045	11.4	101.5	0.155
C	6.5	7.300	7.042	0.449	0.072	35.7	88.0	0.253
E	6.3	8.391	8.959	0.672	0.080	43.9	105.0	0.335

Table 4. Sediment Quality Guideline of heavy metal for Great Lakes(US EPA)

(unit : mg/kg, dry basis)

Metal	No Effect Level	Lowest Level	Limit of Tolerance Level
Cd	0.6	1.0	10.0
Cu	15.0	25.0	114.0
Mn	400.0	457.0	1110.0
Pb	23.0	31.0	250.0
Zn	65.0	110.0	800.0

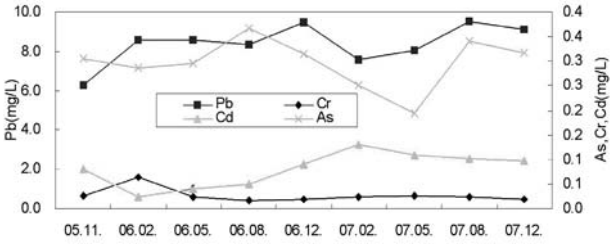

Fig. 8. Concentration of bed sediment in E site of the lower Oncheon stream during the study period

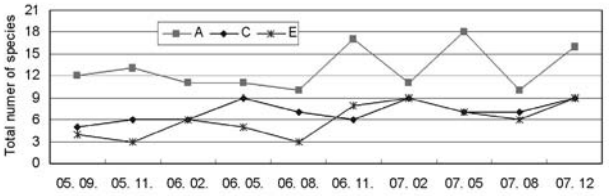

Fig. 9. Number of species before and after the flowing of supporting Water

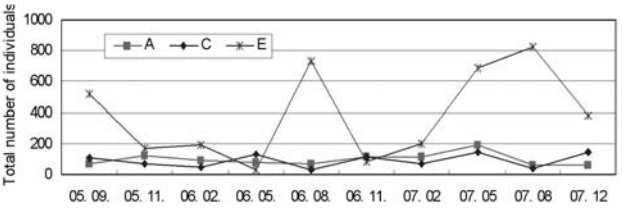

Fig. 10. Number of individuals before and after the flowing of supporting Water

이 보고한 인천지역 하상퇴적물의 38.7 ~ 392.1 ㎎/㎏과 박종석[31]이 보고한 청주시 석남천 저질의 24.2 ~ 67.1 ㎎/㎏보다는 낮으며, 문동열 등[30]이 조사한 전주 만경강 유역 저질토의 0.024 ~ 65.04 ㎎/㎏과 비교 시 지점에 따라 다소 높거나, 유사한 것으로 나타났다.

우리나라에는 기준이 없는 하상퇴적물의 중금속농도는 Table 4. 미국 EPA의 오대호 저질에 대한 기준[34]과 비교해보면 온천천의 하상퇴적물 중금속오염도는 모두 오염이 안 된 상태에 속했다. 그리고, 구간별 중금속농도는 구리와 납, 비소 등의 경우 중, 하류인 C, E지점이 상류의 A지점보다 중금속농도가 약간 높은 것으로 조사되었다.

이와 같은 현상은 아직까지 온천천의 차집하수관거는 강우 시 우수가 배제되는 분류식이 아닌 합류식으로 특히, 중 · 하류의 경우 초기 강우 시 비점오염원으로부터 유입되는 오염물질이 지천을 월류하여 온천천 본류로 유입되고 있으므로 이들 오염물질에 의해 유기물 및 중금속 농도가 다소 증가한 것으로 추정된다.

Fig. 8.는 온천천 하류인 E지점에서 연구기간 동안의 중금속 농도변화를 조사한 것으로 2006년과 2007년 8월 비소가 다소 상승한 것을 제외하고는 거의 큰 변화는 없는 것으로 나타났으며, 하류 E지점에서 비소가 증가한 것은 우수기 지천의 하수 및 흙탕물이 하류 F지점으로 유입된 것과 연관이 있는 것으로 추정된다. 그러나, 하상퇴적물은 그것이 속해 있는 환경 즉 채취당시의 채취지점 등에 의해 그 오염도가 다를 수 있으며, 중금속의 경우는 pH변화나 퇴적물 준설 시 용출될 가능성이 있으며 또한 생체 내 축적되는 성질 및 주변 생태에 미치는 영향 등을 고려해 계속적인 모니터링 작업이 필요한 것으로 판단된다.

저서성 대형무척추동물 군집 변화

종수 및 개체수 변화 : 저서성 대형무척추동물은 종류가 매우 다양하고 환경조건에 따른 적응성이 좋으며, 이동성이 적고 서식처의 환경교란에 대하여 민감하게 반응하며, 정량적인 채집과 분석이 용이하므로 이를 이용한 수질환경조사가 활발하게 이루지고 있는 추세이다[38].

온천천의 하천유지용수로 낙동강 물을 통수하기 전(2005. 9. 9, 11. 1)과 후(2006. 2. 이후)의 물 환경을 생태학적 관점에서 평가하기 위해 저서성 대형무척추동물의 군집 변화를 지점 별로 개체수와 종수, 종다양성지수 및 우점도지수를 비교 분석하였다. 연구기간동안 하천유지용수 공급 전, 후의 각 지점별 평균 종수와 개체수 변화는 Fig. 9, 10.에 나타냈으며, 출현종과 개체수 현황은 Table 5.와 같이 조사되었다.

하천유지용수 공급 전의 종수와 개체수는 Fig. 9, 10.에서 보듯이 A(상류)지점 13종 96개체, C(중류)지점 6종 87개체, E(하류)지점은 4종 342개체로 하류로 내려갈수록 종수는 크게 줄고, 개체수는 크게 증가하는 것으로 나타났다. 하천유지용수로 상수원수 2 ~ 3급수인 낙동강물을 공급 후 저서무척추동물상의 변화는 2007년 12월에 A(상류)지점은 16종 62개체, C(중류)지점은 총 9종 141개체, E(하류)지점은 9종 381개체로 하천유지용수 공급 전에 비해 중 · 하류인 C, E지점의

Table 4. Total individuals and species of marcroinvertebrate during the study period in Onchum stream

species \ period	1st('05. 09.)			2nd('05. 11.)			3rd('06. 02.)			4th('06. 05.)			5th('06. 8.)			6th('06. 11.)		
	A	C	E	A	C	E	A	C	E	A	C	E	A	C	E	A	C	E
Phagocata vivida(산골플라나리아)	9			17			5			14			1			14		
Limnodrilus socialis(실지렁이)	23	55	403	52	17	157	64	19	160	23	14	6		11	720	21		43
Hirudinia sp.1(거머리1)	1		2	2			4		1		1			1				4
Hirudinia sp.2(거머리2)																		1
Physidae sp.(왼돌이물달팽이과)		12	1		27			8	1					5	2	10	14	
Semisulcospira sp.(다슬기)	2			4						3			2					
Baetis nla(꼬마하루살이nla)													12				44	6
Baetis thermicus(꼬마하루살이)		11	11		2		2	5	20	5	3	2	39	8		6		
Baetiella japonica(애하루살이)										6	2		1			2		
Bleptus fasciatus(맵시하루살이)	9			12												2		
Ecdyonurus Kub(참납작하루살이 Kub)													2			2		
Ecdyonurus levis(네점하루살이)	2			4			3			2			3			12		
Paraleptophlebia chocorata(두갈래하루살이)	2						1											
Ephemera strigata(무늬하루살이)				1														
Davidius lunatus(쇠측범잠자리)	2			1														
Nemoura KUa(민강도래 KUa)							1											
Tipula sp.(각다귀 sp.)	3			6			2									24		
Chironomus sp.1(붉은색 깔따구)		26			16	5		2	8		73	5		1	8		2	5
Chironomus sp.2(흰색 깔따구)	8				3		4	8	1	14	21	16	1	2		10	11	4
Chironomus sp.3(흰색 깔따구)				6						2	8	2	2				22	11
Hydropsyche Kua(줄날도래 Kua)	5			5		3	5			1			5			4		
Glossosoma KUa(광택날도래 KUa)	6			4			2			3						3		
Goerodes sp.(네모집날도래)				5												1		
Rhyacophila sp.(물날도래)																1		
Limnephilidae sp.(우묵날도래)																1		
Nematoda sp.1(선충류1)										1	2					1		
Nematoda sp.2(선충류2)																1		
Isopoda sp.(등각류)		2			2			5			4			1			18	10

종수는 증가하였고, 개체수는 비슷하거나, 약간 증가한 것으로 조사되었다.

이는 하천유지용수로 낙동강 물을 30,000 ~ 50,000 m^3/일 통수한 후 중,하류의 수질 향상에 의해 저서의 생물환경이 개선되었기 때문인 것으로 추정된다. 반면, 낙동강물 통수에 영향을 받지 않는 상류인 A지점은 Fig. 9, 10.에서 보듯이 하천유지용수 공급 후 종수는 약간증가하였으나 개체수 변화는 크게 없는 것으로 나타났다.

지점별 종 및 개체수의 변화

Table 5.는 각 지점별 종 및 개체수 그리고 Table 6.은 우점, 아우점종 및 우점률의 조사결과를 나타낸 것이다. Table 5., 6.에서 보는 것과 같이 상류 A지점은 1급수의 지표종인 산골플라나리아류(*Phagocata vivida*), 1 ~ 2급수 생물인 하루살이류(*Ephemroptera*) 등 다양한 저서생물이 관찰되었으나, 오염수역에서 서식하는 실지렁이류(*Limnodrilus socialis*)도 우점하는 것으로 나타나 상류의 비점오염원에 의한 오염물이 간헐적 유입되고 있는 것으로 추정되었다.

낙동강물 통수이전에는 중, 하류인 C, E지점에서는 5급수 이상에서 서식하는 생물인 붉은색 깔다구(*Chironomus* sp.1)와 실지렁이류(*Limnodrilus socialis*)들이 우점 하였으나 하천유지용수 공급후인 2006년 2월이후 중류인 C지점에서는 3급수에 주로 서식하는 꼬마하루살이속(*Baetis thermicus, Baetis nla*), 등각류(*Isopoda sp.*)가 우점하는 것으로 조사되었다. 이는 2 ~ 3급수인 낙동강물 공급에 의한 수질 향상에 의해 저서의 생물환경이 개선되었기 때문인 것으로 추정된다. 그리고, 하류 E지점에서는 Table 6.에서 보는것과 같이 하천유지용수 공급 후에도 여전히 오염수역에서 서식하는 실지렁이류(*Limnodrilus socialis*)들이 우점 하는 것으로 조사되었으나 상대적으로 3급수에 주로 서식하는 꼬마하루살이속(*Baetis thermicus, Baetis* nla), 등각류(*Isopoda sp.*)들의 개체수도 증가하였다. 그리고, 평균 우점률은 하천유지용수 공급 전 0.865에서 하천유지용수 공급 후 0.739 낮아지고 종수도 2종류 증가한 것으로 조사되어 하류의 경우도 물환경의 개선이 진행되고 있는 것으로 판단되었다.

종다양성지수 및 우점도지수 변화

Fig. 11, 12, 13.은 조사기간 동안의 각 지점별 종다양성 지

Table 5. Continued

species \ period	7th('07.02.)			8th('07.05)			9th('07.08)			10th('07.12)		
	A	C	E	A	C	E	A	C	E	A	C	E
Phagocata vivida(산골플라나리아)	1			8			13			1		
Limnodrilus socialis(실지렁이)	6	1	62	32	1	560		3	720		3	49
Hirudinia sp.1(거머리1)		6	3	1		1		1	1	2	2	4
Physidae sp.(왼돌이물달팽이과)	5	6	1	10			2	2		5		
Semisulcospira sp.(다슬기)	1			1			1			9		
Cyprinofus incongruens(패충류)		1	1									
Collembola sp.(톡톡이목)		1										
Baetis nla(꼬마하루살이nla)							4					
Baetis thermicus(꼬마하루살이)	13	2	18	36	47	91				2		
Potamanthus formosus(작은강하루살이)										1		
Ephemerellidae sp.(알락하루살이과)										1	1	
Ecdyonurus levis(네점하루살이)	18			14			32			18		
Ameletus costalis(피라미하루살이)				1								
Baetis fuscatus(개똥하루살이)							3	5	3		4	7
Epeorus curvatulus(흰부채하루살이)							1					
Nigrobaetis bacillus(깜장하루살이)							1					
Ephemera strigata(무늬하루살이)								2				
Davidius lunatus(쇠측범잠자리)										1		
Antocha KUa(명주각다귀)				2	1					3		
Tipula sp.(각다귀 sp.)	16			6	4						4	5
Chironomus sp.1(붉은색 깔따구)		4	12		2	7			94	1	111	295
Chironomus sp.2(흰색 깔따구1)	23	8	2	45		12	2	2	6	10		10
Chironomus sp.3(흰색 깔따구2)	21		71	10		6	4		3			
Chironomus sp.4(흰색 깔따구3)				14								
Ceratopogonidae sp.(등에모기과)	3			5						1		
Hydropsyche Kua(줄날도래 Kua)				3						5	2	1
Goerodes sp.(네모집날도래)				2								
Rhyacophila sp.(물날도래)				1								
Limnephilidae sp.(우묵날도래)				1						1		
Nematoda sp.1(선충류1)	8									1	1	6
Nematoda sp.2(선충류2)					2							
Isopoda sp.(등각류)		40	26		86	11		25			18	4

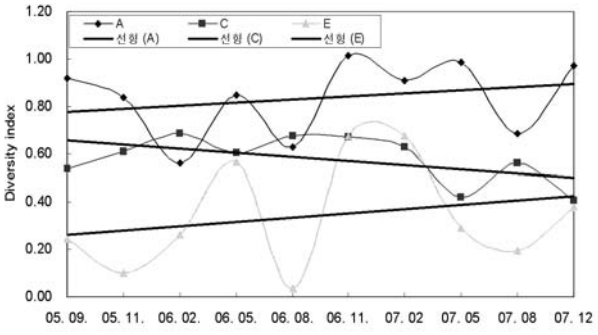

Fig. 11. Diversity Index at each sites during the study period

수 및 우점도지수의 변화를 나타낸 것으로 하류인 E지점은 Fig. 11, 12, 13. 에 나타난 것과 같이 상, 중류지점인 A, C지점과는 달리 하절기 우수기간인 8월에 종다양성지수는 급격히 감소하고, 반면 우점도지수는 증가하는 현상을 나타냈다.

이는 지천인 사직천의 합류식 하수관거의 생활하수 및 오염물질이 강우에 의해 월류하여 하류인 E지점으로 유입되어 하상 저질의 생태환경에 영향을 미쳐 Table 5, 6.에서 보는 것과 같이 오염내성이 강한 실지렁이류(*Limnodrilus socialis*)와 붉은색 깔다구류(*Chironomus* sp.1)가 우점하면서 일어난 현상인 것으로 판단된다. Fig. 11.은 하천유지용수 공급 전, 후 구간별 종 다양성지수 변화를 나타낸 것으로 상류인 A지점은 0.92에서 동절기인 2006년 2월에 0.56으로 감소하다, 다시 2006년 11월에는 다시 1.06으로 증가 2007년 8월 0.69로 감소, 2007년 12월 0.97로 증가하는 등 다소 변화가 있는 것으로 나타났으나 평균 종다양성지수는 0.84로 높은 것으로 나타났다.

중류의 C지점은 종다양성지수는 최고 0.69에서 최하 0.40으로 큰 변화가 없는 것으로 나타났으나, 조사기간별로 살펴보면 Fig. 11., 13.에서 보듯이 2007년 이후 종다양성지수는 약간 감소하고, 우점도지수는 조금 증가하여 생물환경은 다소 악화는 경향을 보이는 것 같으나 Fig. 9.와 Table 5.,6.의 종수

Table 6. Variation of dominance and subdominance rate of marcroinverebrate in Oncheon stream

Site / period	A	Dominance Rate	B	Dominance Rate	C	Dominance Rate
2005.09.	*Limnodrilus socialis* *Phagocata vivida*	0.319 0.125	*Limnodrilus socialis* *Chironomus* sp.1	0.519 0.245	*Limnodrilus socialis* *Baetis thermicus*	0.778 0.216
2005.11.	*Limnodrilus socialis* *Phagocata vivida*	0.437 0.143	Physidae *Limnodrilus socialis*	0.403 0.254	*Limnodrilus socialis* *Chironomus* sp.1	0.952 0.030
2006.02.	*Limnodrilus socialis* *Phagocata vivida*	0.688 0.054	*Limnodrilus socialis* *Chironomus* sp.2	0.404 0.170	*Limnodrilus socialis* *Baetis thermicus*	0.838 0.105
2006.08.	*Limnodrilus socialis* *aPhagocata vivida*	0.311 0.189	*Chironomus* sp.1 *Chironomus* sp.2	0.570 0.164	*Chironomus* sp.2 *Limnodrilus socialis*	0.516 0.194
2006.11.	*Baetis thermicus* *Baetis* nla	0.574 0.176	*Limnodrilus socialis* *Baetis thermicus*	0.379 0.276	*Limnodrilus socialis* *Chironomus* sp.1	0.986 0.011
2007.02.	*Chironomus* sp.2 *Chironomus* sp.3	0.200 0.183	*Isopoda sp.* *Chironomus* sp.2	0.580 0.116	*Chironomus* sp.3 *Limnodrilus socialis*	0.362 0.316
2007.05.	*Chironomus* sp.2 *Baetis thermicus*	0.234 0.188	*Isopoda sp.* *Baetis thermicus*	0.601 0.329	*Limnodrilus socialis* *Baetis thermicus*	0.814 0.132
2007.08.	*Ecdyonurus levis* *Phagocata vivida*	0.508 0.206	*Isopoda sp.* *Baetis fuscatus*	0.625 0.125	*Limnodrilus socialis* *Chironomus* sp.1	0.871 0.114
2007.12.	*Ecdyonurus levis* *Chironomus* sp.2	0.290 0.161	*Chironomus* sp.2 *Isopoda sp.*	0.760 0.123	*Chironomus* sp.2 *Limnodrilus socialis*	0.774 0.129

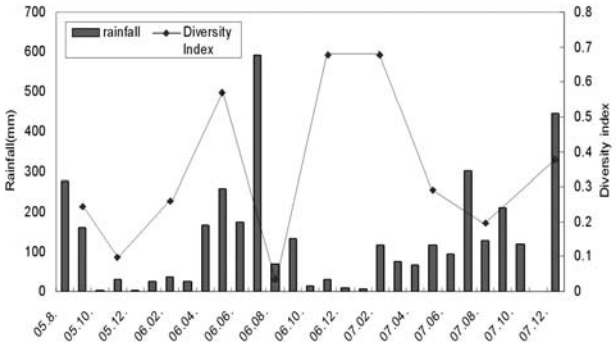

Fig. 12. Rainfall and species diversity Index at E site during the study period

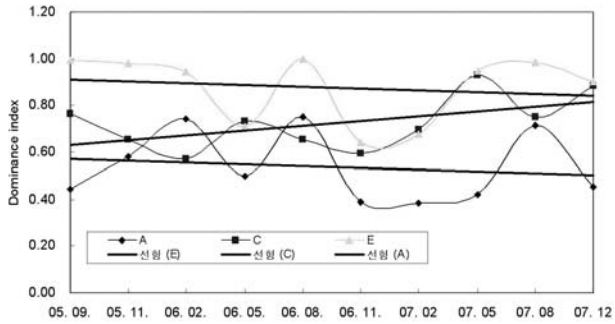

Fig. 13. Dominance Index at each site during the study period

및 개체수 변화를 보면 중류에 있어 5급수에서 서식하는 실지렁이류(*Limnodrilus socialis*)류는 크게 감소한 반면, 2 ~3급수에서 서식하는 흰색깔다구류(*Chironomus* sp.2), 꼬마하루살이속(*Baetis thermicus*, *Baetis* nla), 등각류(*Isopoda sp.*)종의 개체수가 크게 증가하면서 종다양성지수가 일시적 감소하고 우점도지수는 다소 높아진 것으로 으로 추정된다.

이는 저서생물환경이 개선되는 과정에서 일어나는 현상인 것으로 추정되므로 중류의 저서생물환경은 개선이 진행되고 있는 것으로 판단된다. 그러나, 하류인 E지점은 종다양성 지수는 2006년 5월에 0.57에서, 우수기인 8월에 종다양성 지수가 0.03으로 급격히 감소하다가 다시 11월에 0.68로 급격히 증가하였으며, 이같은 변화는 2007년에도 같은 추세를 보이는 것으로 나타나 하류의 경우 생태학적으로 저서생물환경이 불안정한 상태를 보이는 것으로 나타났다. 그러나 Fig. 11.에 나타난 것처럼 우수기를 제외하고는 전반적으로는 종다양성지수가 서서히 증가면서 저서생물환경이 개선되고 있는 것으로 나타났다.

이와 같은 현상은 Fig. 12의 강우량과 종다양성 지수와의 관계에서 나타난 것과 같이 8월에 종다양성 지수가 급격히 감소하는 것은 강수량과 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 이는 우수기 강우로 인해 지천의 오염물이 급격히 온천천 하류로 유입되면서 하천환경이 악화되어 일어난 것으로 추정되며, 그 이후에는 다시 종다양성 지수가 상승한 것은 시간이 경과하면서 하상에 쌓였던 오염물질이 자정작용 및 유속에 의한 씻김현상 등으로 하상의 생태환경이 회복되었기 때문인 것으로 판단된다.

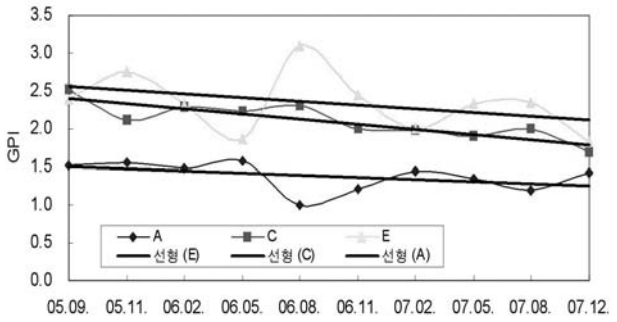

Fig. 14. Variation of GPI at each site during the study period

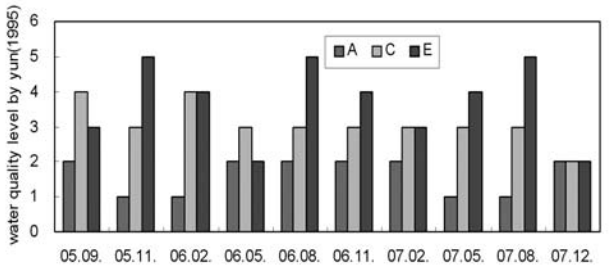

Fig. 15. Variation of water quality level by yun(1995) during the study period

지점별 군오염지수(GPI, Group Pollution Index) 및 수질등급 변화

Fig. 14.과 15는 윤[11]에 따라 지표종 별 계급치를 구하여 지점별로 군오염지수를 구하고 생물학적 수질등급을 구분하여 나타낸 것이다.

1 ~ 5등급은 각각 고도의 청정수, 청정수, 다소의 오염수, 오염수, 고도의 오염수를 의미한다. 군오염지수(GPI)는 윤[11]에 의하여 제시된 것으로 0 ~ 4사이의 수치로 나타내며 수치가 낮을수록 수질은 청정하고 덜 오염되었음을 나타낸다.

Fig. 14는 군오염지수(GPI)를 나타낸 것으로 상류인 A지점은 1.00 ~1.58, C지점 1.69 ~ 2.54, E지점 1.82 ~ 3.09로 상류에서 하류로 내려갈수록 군오염지수가 상승하는 것으로 나타나 하류로 갈수록 물환경이 나빠지는 것으로 조사되었다.

그러나, 기간별 조사결과를 보면 하천유지용수가 공급된 후인 2006년 2월 이후부터는 상, 중, 하류 전구간에 걸쳐 시간이 갈수록 저서의 물환경이 개선되는 추세를 보여주는 것으로 조사되었다. Fig. 15는 윤[11]에 따라 지점별로 생물학적 수질등급을 구분하여 나타낸 것으로 Fig. 15에서 보듯이 상류 A지점은 꾸준히 생물학적으로 1 ~ 2등급수를 유지하고 있으며, 중류는 하천유지용수 공급 전인 2005년 11월까지는 3 ~ 4등급 수준을 나타내고 있었으나, 하천유지용수 공급 후인 2006년 2월 이후부터는 꾸준히 2 ~ 3등급 수준를 유지하고 있는 것으로 조사되어 물환경이 생물학적으로 서서히 개선되고 있는 것으로 나타났다. 하류인 E지점은 윤[11]에 의한 생물학적 수질등급 기준으로 볼 때 2007년 8월까지는 뚜렷한 개선효과는 나타나지 않았으나 2007년 12월부터는 개선효과를 보이고 있는 것으로 조사되어 하류도 물환경의 개선이 진행되고 있는 것으로 나타났다.

하천유지용수로 낙동강물을 통수한 후 BOD기준 각 지점별 수질을 나타낸 Fig. 4와 윤[11]에 의한 생물학적 수질등급 기준으로 조사한 Fig. 15.와 비교 시 수질은 하천유지용수 공급 전에 비해 많이 개선되었고 중, 하류의 수질은 거의 같은 수준을 유지하고 있으나, 생물학적인 기준으로는 볼때 Fig. 15.에서 보듯이 하류의 저서생물환경은 중류보다 악화되어 있는 것으로 나타나 보다 지속적이고 건강한 온전천 물환경 개선을 위해서는 하류 지천의 하수관거의 분류식 정비가 필수적인 것으로 조사되었다.

결 론

1. 하천유지용수로 낙동강 물을 통수하기 전, 후의 구간별 이화학적 수질 조사결과 하천유지용수 공급 전에는 인구가 밀집한 도심지인 하류(B, C, D, F)지점으로 내려가면서 수질이 악화되고 있는 것으로 나타났으나, 하천유지용수 공급 후 중, 하류의 평일 유량은 약 39,000 ~ 59,000m^3/일, 수질은 상수원수 2 ~ 3급수 수준을 유지하고 있으며 하류로 내려가면서 수질이 악화되는 현상은 없는 것으로 조사되었다 .

2. 하상퇴적물 오염도조사결과 pH는 중성, 강열감량은 1 ~ 2.8%로 오염되지 않은 상태를 유지하고 있으며, 중금속에 의한 퇴적물의 오염도는 타 시도 및 미국의 오대호 저질에 대한 기준과 비교한 결과 양호한 수준이었다.

3. 부착조류에 의한 구간별 오탁계급은 상류는 수질이 가장 깨끗한 1급수 수준의 극빈부수성수역(xs) ~ α-빈부수성수역(α-os), 중류는 2, 3급수 수준의 β-빈부수성수역(β-os) ~ β-중부수성수역(β-ms), 하류는 3급수 수준의 β-중부수성수역(β-ms)인 것으로 나타났다.

4. 하천유지용수 공급 이전에는 5급수 이상에서 서식하는 저서무척추대형동물인 붉은색 깔다구(*Chironomus* sp.1)와 실지렁이류(*Limnodrilus socialis*)들이 중, 하류지점에 우점하였으나 하천유지용수 공급 후에는 2 ~ 3급수에 주로 서식하는 꼬마하루살이속(*Baetis thermicus*, *Baetis* nla), 흰색깔다구(*Chironomus* sp.2), 등각류(*Isopoda sp.*)들의 개체수가 상대적으로 증가하고 군오염지수(GPI)가 감소하는 등 중, 하류의 생물환경이 뚜렷이 개선된 것으로 나타났다.

5. 하천유지용수 공급 후 중, 하류의 이화학적 수질이 개선되어 중, 하류의 수질 차이가 없었으나, 부착조류와 저서무척추동물에 의한 생물학적인 기준으로는 하류의 물환경이 중류보다 악화되어 있는 것으로 나타났으며, 특히 하류는 강우 후 물환경이 급격히 악화되는 것으로 나타나 보다 지속적이고 건강한 온전천 물환경 개선을 위해서는 하류 지천의 하수관거의 분류식 정비가 필수적인 것으로 조사되었다.

참 고 문 헌

1. 이정아, "온천천 자연형 하천의 복원과정 모니터링에 관한 연구", 동아대학교(2000)
2. 신성교, 송교욱, 최시현, "낙동강물 도수에 의한 온천천 유지용수 확보 방안 현안연구보고서", 부산발전연구원, pp8-12.(2004)
3. 환경부, 수질오염공정시험방법(2002)
4. Hendey, N.I., "The permanganate method for cleaning freshly gathered diatom", Microscopy, 32, pp423-426(1974)
5. 정준, 한국담수조류도감(1993)
6. Watanabe T., "Picture book and Ecology of the Freshwater Diatoms"(2005)
7. Watanabe T., "Attached diatoms in lake Mashuu and its value of the diatom assemblage index od organc water pollution", Diatom, 5, pp21-31(1990)
8. 환경부, "토양오염공정시험방법"(2002)
9. Hauer. F. R. and G. A., "Lamberti, Methods in Stream Ecology, Academic Press"(1996)
10. 윤일병, "수서곤충검색도설", 정행사. 262pp(1995)
11. 윤일병, "한국동식물도감 동물편(수서곤충류)", 문교부, p30(1988)
12. 정평림, "한국의 담수패류", 연학사, p284(2003).
13. Denis, M. I., "How to Know Aquatic Insects, WCB/Magraw-Hill", p168(1979)
14. Merritt, R. W. and K. W. Cummins, "An Introduction to the Aquatic Insects of North America", Kendall/Hunt Publ Co, 862pp(1996).
15. Pielou, E. C., "Mathematical Ecology John Willey & Sons", New York, p385(1977)
16. McNaughton, S, J., "Relationship among function properties of Califonia grassland (1967)
17. 국립환경연구원, 하천수질의 계절변화특성연구 참조(2000)
18. 日本藥學會編, "衛生試驗法註解. 金原出版株式會社", pp1181-1208(1990).
19. 坂井宏光, "河川における水質および粒徑別底質重金屬の擧動と外部起因汚染の評價方法に關する研究", 用水と廢水, 29(120), pp1115-1120(1990)
20. O .Malm, W. C., Pfeiffer, M. Fiszman and J. M. P. Azcue, "Heavy metal concentration and availability in the bottom sediments of the Paraiba do Sul-Guandu River system", RJ, Brazil, Environmental Technology Letters, 10, pp675-680(1989)
21. M. Ogura and T. Matsunobu, "底質の分析試驗料調製方法と分析値の變動", 수환경학회지, 15(3), pp173-178(1992)
22. 권오억, "금호강하류의 저질중 중금속 함량분포", 韓國環境衛生學會誌, 20(4), pp45-52(1994)
23. 환경부, "토양측정망 및 실태조사결과, pp3-11(2002)
24. 서윤하 외, "부산지역의 하상퇴적물 오염도 조사", 부산광역시 보건환경연구원보(2005)
25. 최의소, "서울시 중랑천의 바닥침전물 특성조사 및 검토", 서울특별시 의회(2005)
26. 안영희, "한강하류 수역의 담수와 퇴적물에 대한 이화학적 조사"(1996)
27. 권영택, 이찬원, 안병영, 윤지훈, "준설해역 오염방지를 위한 하천 퇴적물의 오염특성규명", 대한환경공학회 춘계발표회 논문집(1997)
28. US EPA, "Summary of Sediment Quality Guideline"(2000)
29. 이유대 외, "낙동강 하구언의 해양환경연구; 퇴적작용 및 중금속 분포", 한국해양학회지, 25(4), pp182-188(1990)
30. 문동열 외, "만경강 유역 저질토의 중금속오염에 관한 조사연구, 전북대학교 도시 및 환경 연구", 2, pp108-117(1987)
31. 박종석, "청주시 석남천 저질의 중금속 및 PCBs 오염에 관한 조사연구", 청주대, 산업대학원 석사학위논문, pp22-25(1985)
32. 이중노 외, "광양만 저질중 중금속과 유기물함유량에 관한 연구", 전남보건환경연구원보 5, 223-242(1995)
33. 김주원, "인천지역 하상퇴적물의 중금속 함량에 관한 조사연구", 숭실대 산업대학원 석사 학위논문(1989)
34. D.R.Persaud, R.Jaagumagi and A. Hayton, "Development of Provincial Sediment Quality Guideline", Ontario Ministry of the Environment, Canada (1989)
35. 송희일 외, "신천 및 유입 지천의 저질 오염도 조사연구", 경기도보건환경연구원보, pp140-156(1999)
36. 서미연 외, 도시하천 퇴적물 중의 오염물질 분포양상 규명에 관한 연구-안양천, 홍제천, 불광천, 난지천을 중심으로-, 서울시 보건환경연구원보, p35(1999)
37. 어수미 외, "서울시 인근의 한강 본류 및 지류에 대한 하상 저질의 중금속 오염 평가", 한국환경위생학회지, 20(4), pp17-35(1994)
38. Hellawell, J. M., "Biological Indicators of Frdshwater Pollution and Environmental Management", Elsevier. London and New York, p546(1986)