

온천천 물환경 특성 조사연구 - 하천유지 용수 공급 전, 후 -

권동민[†] · 유은희 · 손정원 · 정재원 · 윤나나 · 황인정 · 권기원 · 빈재훈 · 최홍식
환경조사과

Characteristics of Aquatic Environment in Onchun Stream - Before and After the Flowing of Nakdong River-

Dong-Min Kwon[†], Eun-Hee Yoo, Jun-Won Son, Jae-Won Jeong, Na-Na Yun, In-Jung Hwang,
Ki-Won Kwon, Jae-Hun Bin and Hong-Sik Cheigh

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 evaluates the impact of diverting water application at the riverhead of Onchun stream through the monitoring program for several water quality and ecological parameters. Various water quality parameters and ecological item such as benthic macroinvertebrates has been investigated between 09/05 and 12/06. Analysis indicates that the application of diverting water from the Nakdong river to Onchun stream distinctly improved several water quality parameters such as, PH, BOD, TN, TP and concentrations of heavy metals. Low flow augmentation also improve ecological indices such as the diversity index of benthic macroinvertebrates. Generally speaking, releasing addition water from head water of Onchun stream improves various water environmental characteristics.

Key Words: water quality, bed sediment, macroinvertebrate, Onchun 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 '하천 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 있다¹⁾. 부산광역시에서도 대표적인 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 구성 되어있다. 지난 10여 년간 다수의 계획이 수립되어 하천정비를 추진해오면서 주로 치수 기능을 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 점축산화법 등이 적용되어 하천환경이 개선되어 최근 많은 시민이 이용하고 있으나, 갈수기에는 하수 차집에 따른 하천유지 용수 절대부족 현상으로 자연형 하천의 기능을 상실하고 있다²⁾. 건전한 생태계와 쾌적한 환경 유지를 위해 2005년 11월부터 낙동강 물을 온천천 하천유지용수로 공급하

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

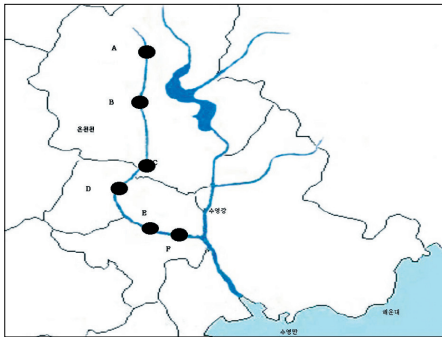


Fig. 1. Map of the Onchun stream showing sampling sites.

A : 청룡2호교, B : 태광산업, C : 금정구청, D : 온천교, E : 세병교, F : 연안교

여 수질개선 및 생태복원을 추진하고 있다.

본 연구에서는 온천천의 하천환경을 효과적으로 관리하기 위하여 하천유지용수 공급 전, 후를 중심으로 이화학적 수질뿐만 아니라 하상퇴적물, 플랑크톤, 저서무척추동물 등 물환경 생태의 변화 및 상호관계를 구간별로 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 2006년 11월까지 월 1회 측정하였으며 플랑크톤, 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, COD, BOD, TN, TP 등은 시료채취 후 즉시 실험실로 운반하여 수질오염공정시험방법⁹⁾에 의거하여 분석하였다.

동·식물플랑크톤 조사 : 동·식물플랑크톤의 조사는 수질오염공정시험방법⁹⁾에 따라 채집하였으며, 정성분석은 중·고배율(×400, ×1,000)에서 분리·동정하였다. 그리고 식물플랑크톤 종의 동정은 한국담수조류도감⁴⁾, 일본담수조류도감⁵⁾ 및 수질오염공정시험방법 부록 I. 담수조류분류표⁹⁾에 따라 동정하였다.

동물플랑크톤 종의 동정은 한국담수동물플랑크톤도감⁶⁾의 분류체계를 따랐으며, 섬모충류의 분류는 문 등⁷⁾의 체계 및

James et al.⁸⁾을 참고하였다.

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 전처리에는 토양오염공정시험방법⁹⁾에 의하여 시료를 통풍이 잘되는 곳에서 건조시킨 후, 2mm 표준체(10메쉬)에 통과한 시료를 분석용 시료로 하였고, 수소이온농도는 pH미터(Orion SA 720)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 측정하였으며, 구리, 카드뮴 등 중금속측정은 원자흡광광도계(Varian Spectra AA 220FS)를 이용하여 분석하였다.

저서성 대형무척추동물 조사 : 저서성대형무척추동물 채집은 계류용 정량 채집망인 Suber net(30×30cm, 망목 0.5mm)(Hauer et al.,)¹⁰⁾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 윤¹¹⁾, 윤¹²⁾, 정¹³⁾, Dennis¹⁴⁾, Merritt and Cummins¹⁵⁾를 참조하여 실시하였다. 종 수준까지 분류가 어려운 종은 외부형태가 확연히 구별되는 종을 대상으로 임의로 과나속 수준에서 sp 1. 등의 형태로 정리하였다.

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

종다양성지수는 Shannon - wiener function(H')

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

(ni : i종의 개체수, N : 총개체수)

우점도지수는 McNaughton's dominant index(DI)

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

(n1 : 우점종, n2 : 아우점종, N : 총개체수)

실험결과 및 고찰

온천천의 수질변화 추이

Fig. 2는 자연형 하천으로 복원된 온천천의 지난 십여년간의 BOD농도 변화 추이를 나타낸 것이다. 1996년도 온천천 최하류 F지점의 경우 BOD 94.1 mg/L, TN 26.67 mg/L, TP 2.03 mg/L로 하천이라기보다는 하수도에 가까운 생물이 살지 못하는 죽은 하천이었으나, 1996년부터 민간합동 온천천 살리기 운동 시작, 1998년 자연형 하천정비 계획 및 설계실시, 1999년에는 온천천 유역의 하수차집관거의 설치 완료 등 본격적으로 자연형 하천의 정비를 시작하면서 하천바닥 및 호안의

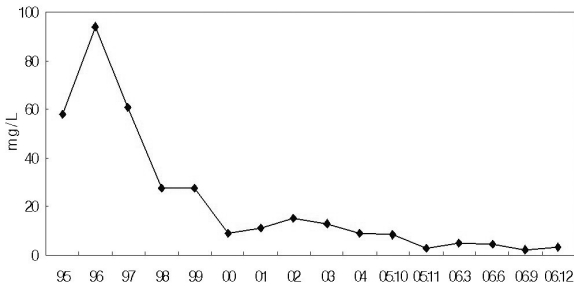


Fig. 2. Yearly variation of BOD in F site of Onchun stream.

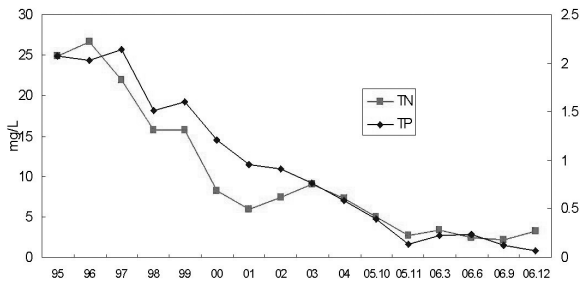


Fig. 3. Yearly variation of TN and TP in F site of Onchun stream.

콘크리트구조물을 걷어내고 자연석, 나무, 흙 등을 이용해 자연형 식생호안을 설치하는 등 자연형 하천으로 복원되면서 2000년에는 최 하류 F지점은 BOD 9.0 mg/L, TN 8.24 mg/L, TP 0.95 mg/L로 급격히 수질이 회복되기 시작하였으며, 갈수기 하천 유지용수 부족을 해소하기 위해 2005년 11월 이후 낙동강 물을 도수하여 통수하기 시작하면서부터 수질은 더욱 개선되어 BOD 2 ~ 5 mg/L, TN 2.21 ~ 3.40 mg/L, TP 0.07 ~ 0.24 mg/L 정도로 하천 생활환경기준 3 등급이하의 수질상태를 유지하고 있는 것으로 나타났다.

하천유지용수 공급 전, 후 지점별 수질변화

온천천은 자연형 하천 조성사업의 일환으로 하수관거정비 등으로 인하여 수질은 급격히 개선되고 있으나 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 톤/일을 온천천 상류인 A 지점 3곳에서 분산하여 하고 있다.

Fig. 4는 하천유지용수 공급 전, 후 수질상태를 비교분석한 결과를 나타낸 것으로 하천유지용수로 낙동강 물을 통수하기 전, 후의 구간별 BOD농도 변화 조사결과를 보면 외부오염원이 거의 없는 최상류의 A지점은 낙동강 물 통수 전에는 BOD 0.4mg/L의 1급수의 수질을 나타내고 있으나 인구가 밀집한 도심지인 중상류인 B지점을 지나면서 급격히 수질이 악화된다. 중하류인 D지점에서 다소 수질이 개선되는 추세를 보이

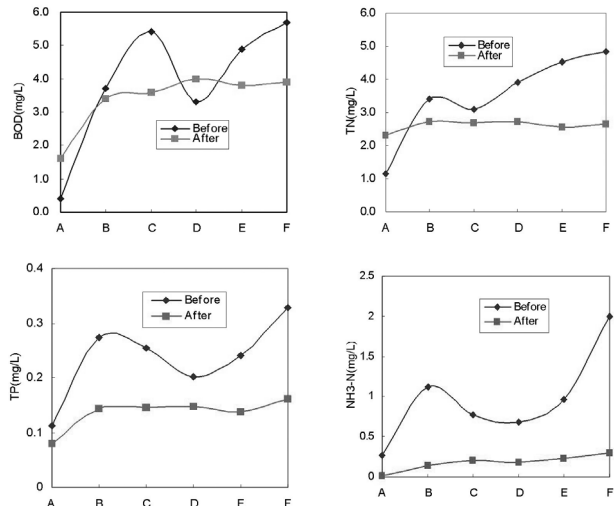


Fig. 4. variation of BOD, TN, TP and NH₃-N according to Before and after the flowing of supporting Water.

다. 하류로 갈수록 다시 수질이 상당히 악화되는 현상을 나타냈다.

중류지점에서 다소 수질이 개선된 것은 자연형 하천 복원에 따른 하천의 자정작용의 증가에 의한 것으로 추정되며, 하류에서 수질이 다시 악화되는 것은 비점오염원 및 생활하수의 지속적 유입이 계속되고 있었기 때문인 것으로 추정된다.

그러나, 최상류인 A지점에 낙동강 물이 통수된 이후 BOD와 TN는 다소 증가하였으나, 중, 하류로 내려가면서 Fig. 4에서 보는 것과 같이 통수 전보다는 수질이 전반적으로 많이 향상된 것으로 조사되었다.

구간별 BOD의 농도는 통수 전과는 달리 하류로 내려갈수록 수질이 악화되는 현상은 거의 나타나지 않았으며 TN, TP 및 NH₃-N 역시 BOD와 유사한 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다. 이는 하천유지용수로 상수원수 2 ~ 3등급인 낙동강 물을 30,000 ~ 50,000 m³/일 공급함으로써 하천유지용수량의 증가에 의한 수질개선효과와 하천유지용수 공급 전을 기준으로 해서 실시한 비점오염원에 의한 생활하수의 유입 차단을 위한 하수관거 정비 효과에 의한 것으로 추정된다.

강우 시 지점별 수질변화

Fig. 5는 온천천의 강우 시의 구간별 수질변화를 지점별로 비교 조사한 결과를 나타낸 것이다. 강우 시의 환경조건으로 강우량은 19 mm였고, 시료채취는 2006년 3월 19일 강우 초기에 실시하였다. Fig. 5에서 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 하

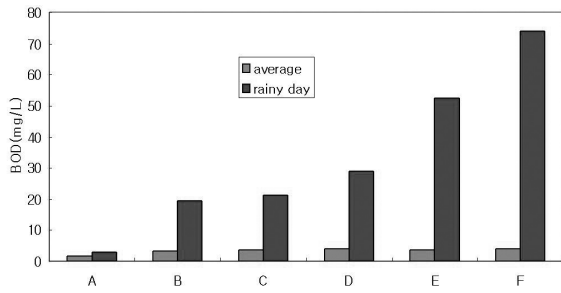


Fig. 5. BOD variation of rainy day in each site of Onchun stream.

류인 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 특성연구¹⁸⁾에 의하면 강우 시 수질이 가장 급격히 악화되는 대표적인 하천은 부산시의 온천천 하류지점인 것으로 나타났다. 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, 하류 지점의 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.

플랑크톤 변화

온천천 유지용수 공급 전, 후의 동·식물성 플랑크톤의 변화를 조사한 결과 낙동강 물 통수 전인 2005년 10월 최상류인 A 지점은 식물성플랑크톤이 거의 없었으며 중류의 C지점에서는

오염지표종인 *Amoeba* sp. 와 *Cryptomonas* sp. 편모조류 등 오염지역에서 발견되는 출현종이 관찰되었으며, 하류로 내려가면서 상류에 비해 *Stephanodiscus* sp., *Navicula* sp.와 *Nitzschia* sp. 등의 규조류가 관찰되었다.

낙동강 물을 통수한 후(2006년 2월 후) 상류의 A지점은 다양한 종들이 출현하였으며, 특히 *Stephanodiscus* sp.가 우점하였고, *Aulacoseira* sp., *Meosira* sp., *Navicula* sp., *Nitzschia* sp. 등 낙동강에 출현하는 조류들이 주로 많이 관찰되었다. 중류인 B지점에서 낙동강물의 영향으로 비슷한 양상을 보였고, 하류인 E지점은 하절기에 편모녹조류인 *Chlamydomonas* sp. 가 많이 나타났다.

출현종수는 20여종으로 다양하였으며, 조사연구 기간에 따른 지점별 주요 우점종 및 아우점종은 Table 1에 나타내었다.

하상퇴적물 변화

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 된다¹⁹⁾. 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 갖는다²⁰⁻²²⁾.

저질층의 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 사정화될 경우에는 각종 중금속류의 용해도가 증가되어 유해도는 더욱 심화되기도 한다. 그러므로 저질층의 중금속오염에 관한 기본적인 해결책을 모색하기 위해서는 저질에 대한 중금속 분포상태를 정확히 파악할 필요가 있다²³⁾. 따라서, 본 연구에서는 온천천

Table 1. Dominant species and Subdominant species of plankton in the Onchun stream

Site	Month	Dominant species	Subdominant species
A	05.10	<i>Navicula</i> sp.	<i>Nitzschia</i> sp.
	06.02	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Aulacoseira</i> sp.
	06.05	<i>Aulacoseira</i> sp.	<i>Synedra</i> sp.
	06.08	<i>Aulacoseira</i> sp.	<i>Nitzschia</i> sp.
	06.11	<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Aulacoseira</i> sp.
C	05.10	<i>Chlamydomonas</i> sp.	<i>Amoeba</i> sp.
	06.02	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Aulacoseira</i> sp.
	06.05	<i>Aulacoseira</i> sp.	<i>Synedra</i> sp.
	06.08	<i>Aulacoseira</i> sp.	<i>Nitzschia</i> sp.
	06.11	<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Aulacoseira</i> sp.
E	05.10	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Navicula</i> sp.
	06.02	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Aulacoseira</i> sp.
	06.05	<i>Aulacoseira</i> sp.	<i>Synedra</i> sp.
	06.08	<i>Aulacoseira</i> sp.	<i>Chlamydomonas</i> sp.
	06.11	<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Navicula</i> sp.

의 하상퇴적물에 함유된 유해 중금속 함량 및 강열함량 등을 분석하여 온천천의 환경오염 예방 및 그 정화대책 수립을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

pH : 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 2는 연구기간 동안 온천천 하상퇴적물 평균오염도의 조사결과를 나타낸 것으로 pH는 6.5 ~ 6.7정도로 중성을 나타냈으며 하류로 내려갈수록 pH는 다소 감소했고, 우리나라 논토양의 평균 pH 5.7²⁴⁾ 보다는 다소 높은 것으로 나타났다.

그리고, 부산시 주요 12개 하천의 하상퇴적물 pH 6.9~8.8²⁵⁾와 서울시 중랑천의 하상퇴적물 pH 6.8~7.1²⁶⁾ 보다는 다소 낮은 것으로 조사되었다.

본 조사에서 측정되어진 pH값으로 볼 때 온천천 하상퇴적물의 pH는 오염되지 않은 값의 범위 내에 있는 것으로 나타났다.

강열감량 : 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 상류는 1%, 하류 2% 정도로 하류로 가면서 다소 증가하고 있으나, 안영의 등²⁷⁾이 조사한 한강 퇴적물의 강열감량 3.1 ~ 15.12%, 권영택 등²⁸⁾이 조사한 창원 남천 하상퇴적물의 강열감량 14.1%보다는 훨씬 낮은 수준인 것으로 나타났다.

그리고 Fig. 5는 부산시 보건환경연구원에서 2006년도 4분기에 조사한 부산시 관내의 하천들에 대한 강열감량과 온천천 하류인 E지점과의 비교결과를 나타낸 것이다. Fig. 5.에서 보듯이 공단지역 내에 위치한 장림천과 도십하천인 동천의 강열감량은 각 14.2%, 7.1%로 온천천 하류인 E지점보다 유기물오염도가 상당히 높은 상태이며, 부산시 하상퇴적물 중 가장 양호한 곳 중의 하나인 낙동강 물금지역의 강열감량 1.4% 보다는 다소 높지만 부산지역 12개하천 20개 지점의 평균 강열감량인 7.3%²⁵⁾보다 훨씬 낮은 양호한 상태를 유지하고 있는 것으로 조사되었다.

우리나라의 하상퇴적물에 대한 기준은 아직 없지만 US EPA의 퇴적물오염도 지침²⁹⁾에 의하면 강열감량이 5%이하일 경우

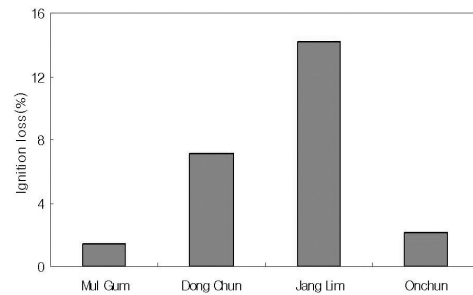


Fig. 6. Comparison of ignition loss at other stream sediments in Busan.

는 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/환원 전위, 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 2.에 나타내었으며, 연구기간동안의 구리 평균농도는 1.764 ~ 10.674 mg/kg으로서 이유대 등³⁰⁾이 보고한 낙동강 하구의 2.3 ~ 16.2 mg/kg, 문동열³¹⁾이 조사한 전주 만경강 유역 저질토의 0.18 ~ 8.86 mg/kg과 박종석³²⁾이 보고한 청주시 석남천 저질의 2.2 ~ 11.6 mg/kg과 유사한 것으로 조사되었다.

구리는 인체 내에서 조혈보조 성분으로서 불가결한 원소로 알려져 있으며, 뉴질랜드에서는 어류 및 어류제품에서 30.0 mg/kg이하로 규제하고 있다³³⁾. 토양 중에 과량 존재할 경우 농작물 생육에 폐해를 일으키는 것으로 알려져 있으며, 농작물재배를 제한할 수 있는 농토양 중 구리 농도는 125 mg/kg이상으로 정하고 있다.

납의 평균농도 범위는 6.673 ~ 8.246 mg/kg으로서 김주원

Table 2. Average concentration of Ignition loss and heavy metals in the sediment of Onchun stream during the study period

Site	Parameter	pH	Pb	Cu	Cr	Cd	Zn	Mn	As	Ignition loss(%)
A		6.68	6.673	1.764	0.142	0.053	12.0	123.6	0.178	1.10
C		6.54	7.423	8.631	0.574	0.060	36.1	99.4	0.272	1.32
E		6.46	8.246	10.674	0.743	0.057	45.3	84.5	0.422	2.14

Table 3. Sediment Quality Guideline of heavy metal for Great Lakes(US EPA)

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

³⁴이 보고한 인천지역 하상퇴적물의 9.00 ~ 44.8 mg/kg과 박종석³²이 보고한 청주시 석남천 저질의 ND ~ 49.1 mg/kg보다는 낮으며, 문동열 등³¹이 조사한 전주 만경강 유역 저질토의 0.21 ~ 11.92 mg/kg과 유사한 것으로 나타났다. 낮은 오염되지 않은 토양 중에도 비교적 다량인 2 ~ 200 mg/kg 정도 함유되며, 미국 EPA의 오대호 저질에 대한 기준³⁵에서 오염부하를 받기 시작하는 함량이하로 거의 오염되지 않은 상태인 것으로 판단된다.

카드뮴의 평균농도 범위는 0.053 ~ 0.060 mg/kg으로서 김주원³⁴이 보고한 인천지역 하상퇴적물의 0.03 ~ 0.90 mg/kg과 박종석³²이 보고한 청주시 석남천 저질의 ND ~ 1.04 mg/kg, 문동열 등³¹이 조사한 전주 만경강 유역 저질토의 ND ~ 0.092 mg/kg보다는 낮거나 유사한 것으로 조사되었으며, 미국 오대호 저질기준³⁵에서 제시한 카드뮴의 기준을 보면 오염을 받지 않은 저질내의 자연함유량이 0.6 mg/kg정도이므로 오염이 안된 상태인 것으로 판단된다.

망간의 평균농도 범위는 84.5 ~ 145.911 mg/kg으로서 특별한 망간의 배출오염원이 없는데도 높은 값을 보인 것은 망간은 주로 지질에 기인하며 토양이나 저질에서 불용성의 이산화망간으로 존재하는데 혐기성상태에서 Mn⁺⁴이 Mn⁺²로 환원하여 쉽게 용해가 되기 때문이다. 송희일 등³⁶이 조사한 경기도 신천의 저질의 98.1 ~ 439.0 mg/kg, 서미연 등³⁷이 보고한 안양천 퇴적물의 100.8 ~ 725.0 mg/kg과 어수미 등³⁸이 보고한 서울시 인근의 한강 지천 하상저질의 272.0 ~ 970.8 mg/kg보다는 훨씬 낮은 것으로 나타났다. 한편 Table 3에 나타난 바와 같이 미국 EPA의 오대호 저질에 대한 기준³⁵에서도 망간의 자연함유량은 400 mg/kg정도로 규정하고 있어 온천천의 하상퇴적물의 망간 오염도는 아주 낮다고 할 수 있겠다.

아연의 평균농도 범위는 12.0 ~ 45.3 mg/kg으로서 김주원³⁴이 보고한 인천지역 하상퇴적물의 38.7 ~ 392.1 mg/kg과 박종석³²이 보고한 청주시 석남천 저질의 24.2 ~ 67.1 mg/kg보다는 낮으며, 문동열 등³¹이 조사한 전주 만경강 유역 저질토의

0.024 ~ 65.04 mg/kg과 비교 시 지점에 따라 다소 높거나, 유사한 것으로 나타났다.

우리나라에는 기준이 없는 하상퇴적물의 중금속농도는 Table 3 미국 EPA의 오대호 저질에 대한 기준³⁵과 비교해보면 온천천의 하상퇴적물 중금속오염도는 모두 오염이 안된 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. 7은 온천천 하류인 F지점에서 연구기간 동안의 중금속 농도변화를 조사한 것으로 2006년 8월 망간이 다소 상승한 것을 제외하고는 거의 큰 변화는 없는 것으로 나타났으며, 하류 F지점에서 2006년 8월에 망간이 증가한 것은 우수기 지천의 하수 및 흙탕물이 하류 F지점으로 유입된 것과 연관이 있는 것

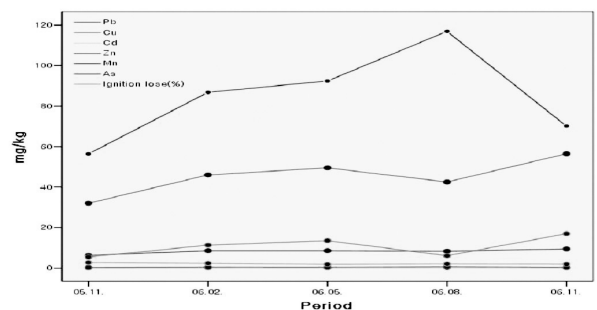


Fig. 7. Concentration of bed sediment in F site of the lower Onchun stream during the study period.

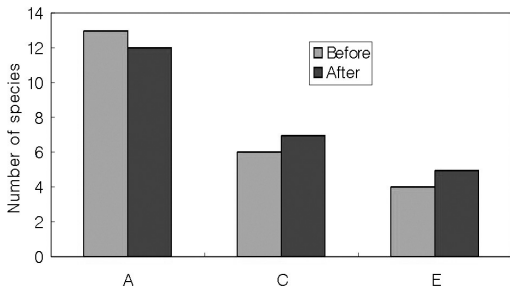


Fig. 8. Number of species before and after the flowing of supporting Water.

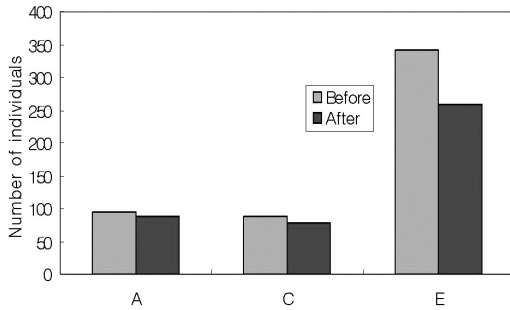


Fig. 9. Number of individuals before and after the flowing of supporting Water.

으로 추정된다.

그러나, 하상퇴적물은 그것이 속해 있는 환경 즉 채취 당시의 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 지속적인 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 이루어지고 있는 추세이다³⁹.

온천천의 하천유지용수로 낙동강 물을 통수하기 전(2005. 09.09. 11.01)과 후(2006. 02. 이후)의 물 환경을 생태학적 관점에서 평가하기 위해 저서성 대형무척추동물의 군집 변화를 지점 별로 개체수와 종수, 종다양성지수 및 우점도지수를 비교 분석하였다.

Fig. 8, 9는 연구기간동안 하천유지용수 공급 전, 후의 각 지점별 평균 종수와 개체수의 변화를 나타냈으며, Table 4에서 출현종과 개체수 현황을 나타내었다.

하천유지용수 공급 전의 종수와 개체수는 A(상류)지점 13종 96개체, C(중류)지점 6종 87개체, E(하류)지점은 4종 342개체로 하류로 내려갈수록 종수는 줄어든 것으로 나타났으며 종

수 및 개체수의 변화는 하류 E지점에서 심한 것으로 조사되었다. 하천유지용수로 상수원수 2 ~ 3급수인 낙동강물을 공급한 후 A(상류)지점은 12종 88개체, C(중류)지점은 총 7종 79개체, E(하류)지점은 5종 259개체인 것으로 조사되어 하천유지용수 공급 전에 비해, 상류인 A지점은 공급 후 종수 및 개체수가 둘 다 약간 감소한 것으로 나타났고, 중· 하류인 C, E지점은 종수는 증가하고 개체수는 감소한 것으로 조사되었다. 일반적으로 물환경이 개선되면 종수는 증가하고 개체수는 감소하는 경향을 보이므로 온천천 중, 하류지점의 생물환경은 하천유지용수 공급 후 공급 전에 비해 생물환경이 개선된 것으로 나타났다.

종다양성지수 및 우점도지수 변화 : Fig. 10, 11, 12은 조사 기간 동안의 각 지점별 종다양성 지수 및 개체수의 변화를 나타낸 것으로 하류인 E지점은 Fig. 11에 나타난 것과 같이 상, 중류지점인 A, C지점과는 달리 하절기 우수기간인 8월에 개체수가 급격히 증가하고, 반면 종수는 감소하는 현상을 나타냈다. 이는 지천인 사직천의 합류식 하수관거의 생활하수 및 오염물질이 강우에 의해 월류하여 하류인 E지점으로 유입되어 하상 저질의 생태환경에 영향을 미쳐 오염내성이 강한 실지렁이류와 붉은색 깔다구류 우점하면서 일어난 현상인 것으로 판단된다.

이는 하천에 오염물질이 유입되면 생물군집의 형태는 생물 다양성 감소, 우점도 증가의 방향으로 변한다는 것과 일치되는 결과를 나타냈다.

Fig. 10은 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 증가하는 등 다소 변화가 있는 것으로 나타났으며, 중류의 C지점은 종다양성지수가 0.54에서 0.67로 꾸준히 증가한 것으로 나타나 하상저질의 생태학적 환경은 개선이 되고 있는 것으로 조사되었다. 그러나, 하류인 E지점의 종다양성지수는 2006년 5월까지의 꾸준한 증가세를 보이다, 우수기인 8월에 갑작이 종다양성 지수가 감소하다가 다시 11월에 급격히 증가하는 등 변화가 심해 생태학적으로 하천환경이 불안정한 상태를 보이는 것으로 나타났다.

이와 같은 현상은 Fig. 11의 강수량과 종다양성 지수와의 관계에서 나타난 것과 같이 8월에 종다양성 지수가 감소한 것은 7월에 약 560mm의 집중강우로 인해 지천의 오염물이 급격히 온천천 하류로 유입되면서 하천환경이 악화되어 일어난 것으로 추정되며, 11월에 다시 종다양성 지수가 급격히 상승한 것은 시간이 경과하면서 하상에 쌓였던 오염물질이 자정작용 및 유속에 의한 씻김현상 등으로 하상의 생태환경이 회복되면서 종다양성 지수가 증가한 것으로 판단된다.

지점 별로 보면 청정지역인 상류 A지점이 0.56에서 1.02로 제일 높았고 중, 하류인 C, E지점은 각각 0.54 ~ 0.69, 0.10 ~ 0.68로 하류로 내려갈수록 종다양성지수가 감소하는 경향을 나타내었다. 하천유지용수 공급 후에는 중류인 C지점이 종다

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

species	period	1차조사(2005년 9월)			2차조사(2005년 11월)			3차조사(2006년 2월)		
		청룡교	금정구청	세병교	청룡교	금정구청	세병교	청룡교	금정구청	세병교
<i>Phagocata vivida</i> (산골플라나리아)		9			17			5		
<i>Limnodrilus socialis</i> (실지렁이)		23	55	403	52	17	157	64	19	160
<i>Hirudinia</i> sp.1(거머리1)		1		2	2			4		1
<i>Hirudinia</i> sp.2(거머리2)										
Physidae(원들이틀달팽이과)			12	1		27			8	1
<i>Semisulcospira</i> sp.(다슬기)		2			4					
<i>Baetis nla</i> (꼬마하루살이 nla)										
<i>Baetis thermicus</i> (꼬마하루살이)			11	112		2		2	5	20
<i>Baetiella japonica</i> (애하루살이)										
<i>Bleptus fasciatus</i> (맷시하루살이)		9			12					
<i>Ecdyonurus</i> Kub(잡납작하루살이 Kub)										
<i>Ecdyonurus levis</i> (네점하루살이)		2			4			3		
<i>Paraleptophlebia chcorata</i> (두갈래하루살이)		2						1		
<i>Ephemera strigata</i> (무늬하루살이)					1					
<i>Davidius lunatus</i> (쇠족벌잡자리)		2			1				2	8
<i>Nemoura</i> KUa(민강도래 KUa)								1	8	1
<i>Tipula</i> sp.(각다귀 sp.)		3			6			2		
<i>Chironomidae</i> sp.1(깔따구 sp.1)			26			16	5			
<i>Chironomidae</i> sp.2(깔따구 sp.2)		8			6	3		4		
<i>Chironomidae</i> sp.3(깔따구 sp.3)					5		3			
<i>Hydropsyche</i> Kua(줄날도래 Kua)		5			4			5		
<i>Glossosoma</i> KUa(광택날도래 KUa)		6			5			2		
<i>Goerodes</i> sp.(네모집날도래)										
<i>Rhyacophila</i> sp.(물날도래)										
Limnephilidae sp.(우묵날도래)										
Nematoda sp1.(선충류1)										
Nematoda sp2.(선충류2)										
Isopoda sp.(등각류)			2			2			5	

species	period	4차조사(2006년 5월)			5차조사(2006년 8월)			6차조사(2006년 11월)		
		청룡교	금정구청	세병교	청룡교	금정구청	세병교	청룡교	금정구청	세병교
<i>Phagocata vivida</i> (산골플라나리아)		14			1			14		
<i>Limnodrilus socialis</i> (실지렁이)		23	14	6		11		21		43
<i>Hirudinia</i> sp.1(거머리1)			1			1	720			4
<i>Hirudinia</i> sp.2(거머리2)										1
Physidae(원들이틀달팽이과)						5		10	14	
<i>Semisulcospira</i> sp.(다슬기)		3			2		2			
<i>Baetis nla</i> (꼬마하루살이 nla)					12				44	6
<i>Baetis thermicus</i> (꼬마하루살이)		5	3	2	39	8		6		
<i>Baetiella japonica</i> (애하루살이)		6	2		1			2		
<i>Bleptus fasciatus</i> (맷시하루살이)								2		
<i>Ecdyonurus</i> Kub(잡납작하루살이 Kub)					2			2		
<i>Ecdyonurus levis</i> (네점하루살이)		2			3			12		
<i>Paraleptophlebia chcorata</i> (두갈래하루살이)										
<i>Ephemera strigata</i> (무늬하루살이)										
<i>Davidius lunatus</i> (쇠족벌잡자리)										
<i>Nemoura</i> KUa(민강도래 KUa)										
<i>Tipula</i> sp.(각다귀 sp.)								24		
<i>Chironomidae</i> sp.1(깔따구 sp.1)			73	5		1	8		2	5
<i>Chironomidae</i> sp.2(깔따구 sp.2)		14	21	16	1	2		10	11	4
<i>Chironomidae</i> sp.3(깔따구 sp.3)		2	8	2	2				22	11
<i>Hydropsyche</i> Kua(줄날도래 Kua)		1			5			4		
<i>Glossosoma</i> KUa(광택날도래 KUa)		3						3		
<i>Goerodes</i> sp.(네모집날도래)								1		
<i>Rhyacophila</i> sp.(물날도래)								1		
Limnephilidae sp.(우묵날도래)								1		
Nematoda sp1.(선충류1)		1	2					1		
Nematoda sp2.(선충류2)								1		
Isopoda sp.(등각류)			4			1			18	10

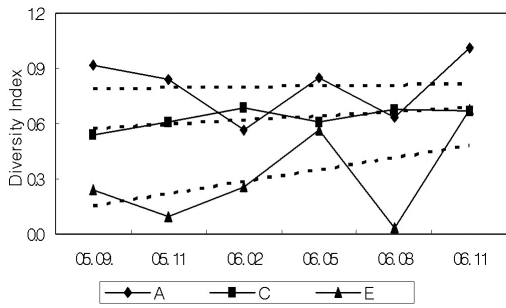


Fig. 10. Diversity Index at each sites during the study period.

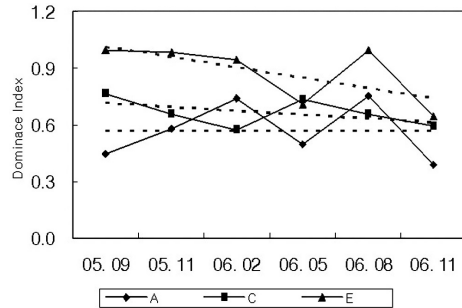


Fig. 12. Dominance Index at each site during the study period.

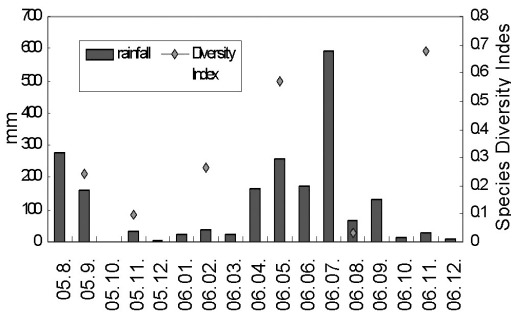


Fig. 11. Rainfall and species diversity Index at E site during the study period.

양성지수가 가장 안정적으로 증가한 것으로 조사되었다.

반면, Fig. 12에서 보는 것과 같이 지점별 우점도지수의 변화는 종다양성 지수와는 달리 하류로 갈수록 우점도 지수는 증가하였고, 하류인 E지점의 경우 하천유지용수 공급전인 2005년 9월부터 유지용수 공급후인 2006년 5월까지의 꾸준한 감소하다, 우수기인 8월에는 다시 증가하는 등 다소 불안한 상태를 나타내고 있지만 하천유지용수로 낙동강 물이 유입되면서 Fig. 10, 12에서 보는것 같이 전반적으로 종다양성은 서서히 증가하고 우점도는 감소하는 추세를 보여 물환경 개선이 진행되고 있는 것으로 나타났다.

지점별 우점종 및 아우점종 : Table 5는 각 지점별 우점, 아우점종 및 우점종을 나타낸 것으로 하천유지용수 공급 전인 상류 A지점은 1급수의 지표종인 산골플라나리아류(*Phagocata vivida*)가 아우점종을 나타냈으며, 1 ~ 2급수 생물인 하루살이류도 다양하게 관찰되었지만, 오염수에서 서식하는 실지렁이류(*Limnodrilus socialis*)가 우점하는 것으로 나타나 상류의 비점오염원에 의한 오염물이 간헐적 유입되고 있는 것으로 추정되었다.

하천유지용수 공급 후인 2006년 2월이후에는 1급수 지표종인 프라나리아류와 3급수에 주로 서식하는 꼬마하루살이속(*Baetis nla*)의 우점이 관찰되기도 하였는데 이는 2 ~ 3급수인 낙동강물 통수와 관련이 있는 것으로 판단된다.

중류인 C지점에서는 5급수이상에서 서식하는 생물인 붉은색 깔다구(*Chironomidae sp.1*)와 실지렁이 및 3급수에서 서식하는 꼬마하루살이류들이 공존하였으나, 하류 E지점에서는 오염수역에서 서식하는 실지렁이류와 붉은색 깔다구류의 우점률이 종류에 비해 상대적으로 증가하였다.

지점별 군오염지수(GPI, Group Pollution Index) 및 수질 등급 변화 : Fig. 13과 14는 윤¹⁰⁾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 윤¹⁰⁾에

Table 5. Variation of dominance and subdominance rate of macroinvertebrate in Onchun stream

period	Site	A	Dominance Rate	C	Dominance Rate	E	Dominance Rate
05. 09.		<i>Limnodrilus socialis</i>	0.319	<i>Limnodrilus socialis</i>	0.519	<i>Limnodrilus socialis</i>	0.778
		<i>Phagocata vivida</i>	0.125	<i>Chironomidae sp.1</i>	0.245	<i>Baetis thermicus</i>	0.216
05. 11.		<i>Limnodrilus socialis</i>	0.437	<i>Physidae</i>	0.403	<i>Limnodrilus socialis</i>	0.952
		<i>Phagocata vivida</i>	0.143	<i>Limnodrilus socialis</i>	0.254	<i>Chironomidae sp.1</i>	0.030
06. 02.		<i>Limnodrilus socialis</i>	0.688	<i>Limnodrilus socialis</i>	0.404	<i>Limnodrilus socialis</i>	0.838
		<i>Phagocata vivida</i>	0.054	<i>Chironomidae sp.2</i>	0.170	<i>Baetis thermicus</i>	0.105
06. 08.		<i>Limnodrilus socialis</i>	0.311	<i>Chironomidae sp.1</i>	0.570	<i>Chironomidae sp.2</i>	0.516
		<i>Phagocata vivida</i>	0.189	<i>Chironomidae sp.2</i>	0.164	<i>Limnodrilus socialis</i>	0.194
06. 11.		<i>Baetis thermicus</i>	0.574	<i>Limnodrilus socialis</i>	0.379	<i>Limnodrilus socialis</i>	0.986
		<i>Baetis nla</i>	0.176	<i>Baetis thermicus</i>	0.276	<i>Chironomidae sp.1</i>	0.011

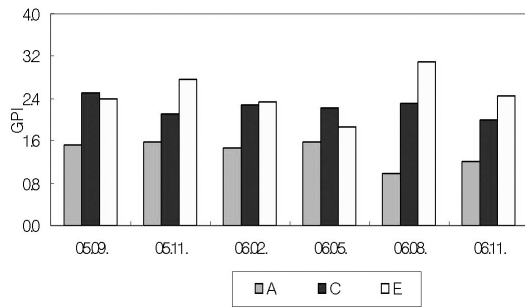


Fig. 13. Variation of GPI at each site during the study period.

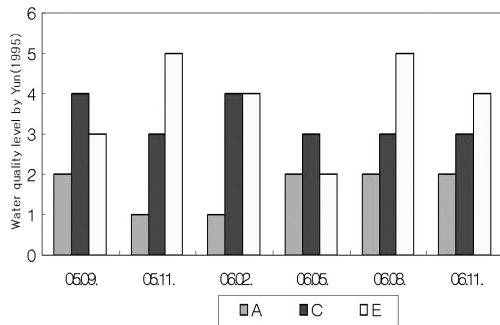


Fig. 14. Variation of water quality level by Yun(1995) during the study period.

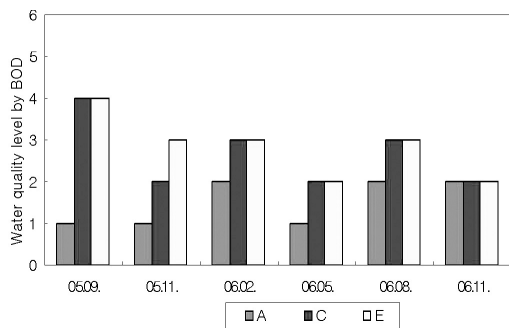


Fig. 14. Variation of water quality level by Yun(1995) during the study period.

의하여 제시된 것으로 0 ~ 4사이의 수치로 나타내며 수치가 낮을수록 수질은 청정하고 될 오염되었음을 나타낸다.

Fig. 13과 14에서 보듯이 상류 A지점은 꾸준히 생물학적으로 1 ~ 2등급수를 유지하고 있으며, 중류는 하천유지용수 공급 전인 2005년 11월 이전에는 3 ~ 4등급수, 낙동강물 통수 후에는 3등급수를 유지하고 있는 것으로 조사되었으나, 하류인 E지점은 하천유지 용수공급 전후, 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

Fig. 15는 BOD기준 각 지점별 수질등급을 나타낸 것으로 Fig. 13과 14와는 달리 중, 하류인 C, E지점의 경우 BOD기준으로는 같은 2 ~ 3등급 수질을 나타내 생물학적인 수질등급과는 차이가 있는 것으로 조사되었다.

저서성 대형무척추 동물군집 변화에 따른 온천천의 물 환경의 특성은 지천에 의한 오염부하가 크지않은 중류지역에서는 하천유지용수 공급 후 물 환경의 개선이 진행되고 있는 것으로 나타났으나, 강우 시 지천의 오염부하를 직접 받는 하류 E지점의 경우 종 다양성이 계속 증가하다 급격히 하락하는 등 생태학적으로 불안정한 물환경을 나타내었다. 지속적인 물환경 개선을 위해서는 하류 지천들의 하수관거를 합류식에서 분류식으로의 정비가 시급한 것으로 판단된다.

요 약

1. 하천유지용수로 낙동강 물을 통수하기 전, 후의 구간별 이화학적 수질변화 조사결과 유지용수 공급 전에는 인구가 밀집한 도심지인 중, 하류(B, C, D, F)지점으로 내려가면서 수질이 악화되고 있는 것으로 나타났으나, 공급 후 중, 하류지점의 수질은 더욱 개선되었고 하류로 내려갈수록 수질이 악화되는 현상도 거의 나타나지 않았다.

2. 유지용수 공급 후 플랑크톤 개체 수는 전 구간에서 다소 증가하였고, 상류는 개체수 증가와 더불어 다양한 종들이 출현하였으며, 하상퇴적물은 조사결과 오염되지 않은 양호한 상태를 유지하고 있는 것으로 나타났다.

3. 온천천의 하상퇴적물 오염도조사결과 pH 강열감량은 1 ~ 2%로 유기물에 의한 오염은 거의 없는 수준이었으며, 중급속농도도 미국의 오대호 저질에 대한 기준과 비교해보면 모두 오염 안 된 양호한 상태인 것으로 조사되었다.

4. 저서성 대형무척추 동물군집 변화에 따른 온천천의 물 환경은 중류지역에서는 하천유지용수 공급 후 물 환경의 개선이 진행되고 있는 것으로 나타났으나, 하류의 경우 강우 시 지천의 생활하수 등 오염물 유입으로 인해 종 다양성이 계속 증가하다 급격히 하락하는 현상을 나타내 생태학적으로 다소 불안정한 물환경 현상을 보이는 등 개선효과가 크게 나타나지 않아 보다 지속적인 물환경 개선을 위해서는 하류 지천들의 하수관거가 합류식에서 분류식으로의 정비가 필요한 것으로 나타났다.

향후, 온천천의 물 환경변화를 보다 정확하게 판단하기 위해서는 장기적인 조사연구가 필요하며 현재 이에 대한 조사연구는 계속 진행 중에 있다.

참 고 문 헌

1. 이정아, 2000. 온천천 자연형 하천의 복원과정 모니터링에 관한 연구, 동아대학교.
2. 신성교, 송교욱, 최시현, 2004. 낙동강물 도수에 의한 온천천 유지용수 확보 방안, 현안 연구보고서, 부산발전연구원 pp. 8-12. 2.
3. 환경부, 2002. 수질오염공정시험방법.

4. 정준, 1993. 한국담수조류도감.
5. Hirose and Yamagishi, 1977. 일본담수조류도감.
6. 조규송, 1993. 한국담수동물플랑크톤도감.
7. 문은영, 김영옥, 김백호, 공동수, 한명수, 2004. 팔당호의 성모충플랑크톤의 분류 및 생태학적 연구, 한국육수학회지 37(2): 149-179.
8. James, H. Thorp, P. C. Alan, 2001. Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. 2nd, ed. Academic press. 1056pp.
9. 환경부, 2002. 토양오염공정시험방법.
10. Hauer, F. R. and G. A. Lamberti, 1996. Methods in Stream Ecology. Academic Press.
11. 윤일병, 1995. 수서곤충검색도설, 정행사. 262pp.
12. 윤일병, 1988. 한국동식물도감, 제 30권, 동물편(수서곤충류), 문교부.
13. 정평림, 2003. 한국의 담수패류., 연학사, 284pp.
14. Denis, M. I., 1979. How to Know Aquatic Insects, WCB/Magraw-Hill, 168pp.
15. Merritt, R. W. and K. W. Cummins, 1996. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. 3rd, ed. Kendall/Hunt Publ. Co. 862pp.
16. Pielou, E. C., 1977. Mathematical Ecology. John Willey & Sons, New York. 385pp.
17. McNaughton, S. J. 1967, Relationship among function properties of California grassland.
18. 국립환경연구원, 2000. 하천수질의 계절변화특성연구 참조
19. 日本藥學會編, 1990. 衛生試驗法註解. 金原出版株式會社, pp 1181-1208.
20. 坂井宏光, 1987. 河川における水質および粒徑別底質重金屬の舉動と外部起因汚染の評價方法に関する研究. 用水と廢水, 29(120), pp 1115-1120.
21. O. Malm, W. C. Pfeiffer, M. Fisman and J. M. P. Azcue, 1989. Heavy metal concentration and availability in the bottom sediments of the Paraiba do Sul-Guandu River system, RJ, Brazil. Environmental Technology Letters, 10, pp 675-680.
22. M. Ogura and T. Matsunobu, 1992. 底質の分析試料調製方法と分析値の變動. 수환경학회지, 15(3), pp 173-178.
23. 권오억, 1994. 금호강하류의 저질중 중금속 함량분포, 韓國環境衛生學會誌, 20(4), pp 45-52.
24. 환경부, 2002. 토양측정망 및 실태 조사결과, pp 3-11.
25. 서운하 외, 2005. 부산지역의 하상퇴적물 오염도 조사, 부산광역시 보건환경연구원보.
26. 최의소, 2002. 서울시 중랑천의 바닥침전물 특성조사 및 검토, 서울특별시 의회.
27. 안영희, 1996. 한강하류 수역의 담수와 퇴적물에 대한 이화학적 조사.
28. 권영택, 이찬원, 안병영, 윤지훈, 1997. 준설해역 오염방지를 위한 하천 퇴적물의 오염특성규명, 대한환경공학회 춘계발표회 논문집.
29. US EPA(2000), Summary of Sediment Quality Guideline.
30. 이유대 외, 1990. 낙동강 하구연의 해양환경연구; 퇴적작용 및 중금속 분포, 한국해양학회지, 제25권, 제4호, pp 182-188.
31. 문동열 외, 1987. 만경강 유역 저질토의 중금속오염에 관한 조사연구, 전북대학교 도시 및 환경연구, 제2집, pp 108-117.
32. 박종석, 1985. 청주시 석남천 저질의 중금속 및 PCBs 오염에 관한 조사연구, 청주대, 산업대학원 석사학위논문, pp 22-25.
33. 이종노 외, 1995. 광양만 저질중 중금속과 유기물함유량에 관한 연구, 전남보건환경연구원보 제5권, pp 223-242.
34. 김주원, 1989. 인천지역 하상퇴적물의 중금속 함량에 관한 조사연구, 송실대 산업대학원 석사학위논문.
35. D.R.Persaud, R.Jaagumagi and A. Hayton, (1989), Development of Provincial Sediment Quality Guideline, Ontario Ministry of the Environment, Canada
36. 송희일 외, 1999. 신천 및 유입 지천의 저질 오염도 조사연구, 경기도 보건환경연구원보, pp 140-156.
37. 서미연 외, 1999. 도시하천 퇴적물 중의 오염물질 분포양상 규명에 관한 연구-안양천, 홍제천, 불광천, 난지천을 중심으로-, 서울시 보건환경연구원보, 제35권, pp
38. 어수미 외, 1994. 서울시 인근의 한강 본류 및 지류에 대한 하상 저질의 중금속 오염 평가, 한국환경위생학회지, 제20권 제4호, pp 17-35.
39. Hellowell, J. M., 1986. Biological Indicators of Frdshwater Pollution and Environmental Management, Elsevier. London and New York, pp. 546.