

낙동강 물 공급에 따른 온천천 하천생태 특성 조사연구

손정원[†] · 임용승 · 이소림 · 이경심
환경조사과

A Study on Ecological Characteristics of Oncheon Stream After Maintenance Water Discharge from the Nakdong River

Jung-Won Son[†], Young-Sung Yim, So-Lim Lee and Kyung-Sim Lee
Environmental Research Division

Abstracts

Water quality and Benthic macroinvertebrate communities were investigated at five sites of Oncheon stream total eight times in 2010 ~ 2011.

Upstream flow from the origin was 1780 ~ 7070 m³/d and maintenance water added total flow was about 40,000 m³/d. Average Biochemical Oxygen Demand(BOD) was 0.7 mg/L in origin flow and 1.5~1.9 mg/L in maintenance water added flow of Oncheon stream. Generally It shows slightly increasing BOD patterns toward downstream.

Benthic macroinvertebrates were collected total 5 phylum 9 class 19 order 63 species and 7760 individuals. Dominant taxa were Ephemeroptera at St. 1, 2, Diptera at St. 3, Annelida at St. 4, 5. Diversity index of benthic macroinvertebrate communities was decreased and dominance index was increased toward downstream. Main factor of decreasing diversity index and increasing dominance index at St. 4, 5 was intermittent flourishing of *Limnodrilus gotoi*, which has been known as one of the organic pollution indices.

Key words : Oncheon stream, Maintenance water, Benthic macroinvertebrates

서론

하천환경과 생태계를 건전하게 유지하기 위해서는 양호한 수질과 풍부한 수량 확보가 무엇보다도 필수적인 과제이다. 특히 하천유지용수량 확보는 하천이 하천으로서 기능하기 위한 최소한의 선결조건이라고 할 수 있다. 하지만 도심하천은 지천이 흐르는 유역면적이 대부분 도시화되어 불투수면적이 확대되어 있고 방재를 위한 신속한 우수배제가 우선시 되고 있어 하천 유지용수 확보가 쉽지 않은 상황이다. 과거 개발 우선정책이 시행되던 시기에는 하천의 기능이 단지 우수배제나 경관적인 목적을 주로 지니었

으나 현재는 친수공간 및 생태적인 공간으로서의 의미가 크게 부각되고 있으며 이러한 추세는 소득수준이 높아지고 환경의식이 성숙함에 따라 더욱 확대될 전망이다. 이러한 추세에 따라 우리나라에서도 하천을 생태적으로 복원하고자 하는 노력이 다양한 방식으로 각지에서 행해지고 있다.

온천천은 부산 수영강의 지류로서 수영강 하구로부터 2.1 Km 상류지점에서 수영강의 서쪽으로 유입되는 하천으로 금정산의 고당봉과 계명봉 골짜기에서 발원하여 수영강 합류지점까지의 유로 약 14.3 Km의 하천으로 부산의 중심가인 금정구, 동래구, 연제구 86만명의 인구가 거주하는 거주지역을 통과하는 부산시의 대표적인 도심하천이다.

[†] Corresponding author. E-mail : jwson@korea.kr

Tel : +82-51-758-6123, Fax : +82-51-753-1424

온천천의 유역면적은 56.28 Km²이며, 과거 이 유역으로부터 약 14개의 지천이 온천천으로 유입되고 있었지만 현재는 시가지 형성 및 합류식 하수도 정비로 인하여 본류를 제외한 대부분의 하천유역이 복개되어 시가화되었으며 지천의 유로는 대부분 하수도로 활용되고 있는 실정이다. 이 결과 지천으로부터의 폭넓은 유지용수량 확보는 어렵고, 자연적인 유지용수는 단지 금정산으로부터 유하되는 상류 일부 유역의 유량에 국한되어, 갈수기에는 유지용수량의 부족으로 하천이 건천화되었으며, 강우시에는 합류식 하수도의 월류수(CSOs)가 일시에 유출되어 급격한 유량과 수질 변동이 빈번히 나타나곤 하였다. 이러한 하천환경에서는 하천의 다양한 기능과 역할, 즉 친수공간 및 하천생태계 부양공간으로서의 기능과 역할 등을 수행해 나가는 것은 거의 불가능한 상태였다.

부산시는 온천천의 하천유지용수량 확보 목적으로 2005년 11월 이후 지금까지 6여년간 낙동강의 물금취수장으로부터 상수원수를 약 35,000 m³/day 가량 온천천에 공급하여 하천이 생태적으로 기능할 수 있는 최소한의 기반을 확보하였으며 다양한 하천 정비사업을 통해, 친수 및 생태적 공간으로서의 온천천의 위상을 드높이고자 노력하였다. 이러한 결과로 지난 6여년간 온천천의 수질은 과거에 비해 크게 개선되었으며 도시민에게 휴식공간을 제공하고 경관을 향상시키는 등 부산시의 대내외적인 이미지 향상에도 큰 역할을 하고 있다. 하지만 친환경도시를 표방하는 부산시의 시정목표에 부응하고 하천에 대한 대 시민 환경수요를 감당하기 위해서는 온천천이 친수하천의 모습에서 진일보하여 생태하천의 면모를 갖추어 줄 필요가 있다. 물론 온천천은 합류식 하수도의 월류수(CSOs)와 비점오염원 유입, 그리고 주변 생태계와 단절과 같은 도심 하천으로서의 본질적인 한계가 있지만 유지용수 공급이 지속되어 안정적인 수문환경이 지속되고, 장래에 분류식 하수도 등이 완비되고 일부 지천이 복원된다면 도심 속에서도 풍부한 자연이 숨쉬는 생태하천을 경험하는 것도 불가능하지 않을 것이다. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 현재의 하천생태

계에 대한 현황을 정확히 파악하고 온천천에서 행해지고 있는 다양한 하천 정책들이 하천생태계에 미치는 영향에 대해서 충분한 검토가 있어야 될 것이다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 유지용수가 공급되는 온천천의 수질 및 저서성대형무척추동물을 중심으로 한 생태학적인 상태를 분석하여 유지용수 공급과 관련된 하천생태 현황과 변화에 대한 자료를 확보하고 도심하천 온천천의 생태학적인 복원의 현재와 미래의 주안점에 대해 논의하고자 한다.

재료 및 방법

조사지점 및 조사시기

조사지점은 Fig. 1에 나타내었으며, 낙동강물 공급 이전 지점인 금정산 계곡수가 흐르는 지점 1지점 (St. 1)과 유지용수 공급 이후 지점 4지점(St. 2, St. 3, St. 4, St. 5)의 총 5지점을 선정하였으며, 추가적으로 낙동강 물 유입관로부터 유입되는 낙동강 물을 채수하여 수질 분석하였다. 상류지점에 보다 조밀하게 조사지점이 선정되었는데 이는 낙동강물 공급 전후 지점을 비교하고, 또한 중하류 지점의 경우 유하에 따른 하천환경의 변화가 크지 않기 때문이다. St. 1 및 St. 2지점은 호박돌, 자갈 등의 하상이 주가 되는 산지하천의 특성을 보이고 있으나 자연적으로 형성된 St. 1지점에 비해 St. 2 지점은 보다 인위적으로 조성되어 있어 서식처의 다양성은 좀 더 떨어진 지점이다. St. 3 지점 이후부터는 도심 중심지로 접어들게 되는 지점으로 강우시 합류식 하수도의 월류수(CSOs) 유입의 직접적인 영향을 받고 있으며, 특히 St. 5지점은 조사지점 중 가장 인구밀도가 높은 도심지에 위치하고 있으며, 강우시 많은 오염부하를 CSOs의 형태로 배출하는 사직천의 하류부에 위치하고 있다. 조사시기는 2010~2011년간 중 강우의 영향이나 하천정비공사의 영향 등이 적은 날을 골라 분기별 4회 총 8회 실시하였다. 조사시기는 아래 Table 1과 같다.

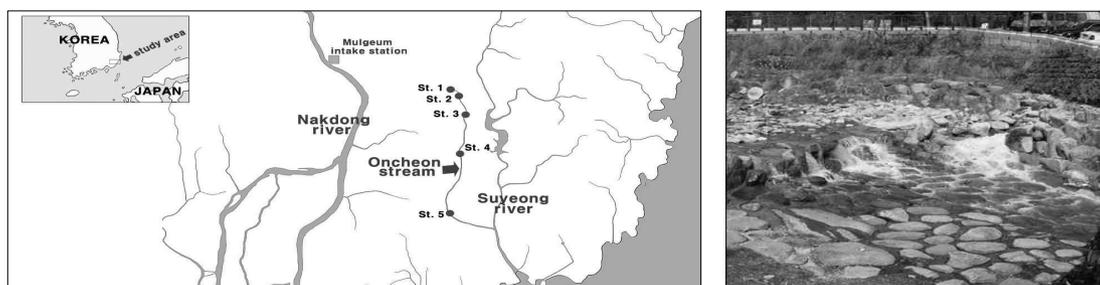


Fig. 1. Map showing the sampling site and photo of the maintenance water discharging place.

Table 1. Sampling date

Year	2010				2011			
Sampling date	3/29	6/01	8/30	10/26	3/28	6/22	9/15	11/24

조사항목

이화학적 수질은 5개 조사지점과 낙동강 원수 유입지점 등 총 6지점에서 총 10항목을 분석하였으며, 수온, pH, DO, 전기전도도는 현장측정기(YSI-556MPS)를 이용하여 현장에서 측정하였으며, BOD, COD, SS, chl-a, T-N, T-P는 시료 2L를 현장에서 채수하여 운반한 후 실험실에서 분석하였으며 시료 채수 및 분석 등 제반 사항은 수질오염공정시험기준에 의거하였다. 또한 본래의 온천천 유량인 금정산 계곡수 유량은 유속-면적법에 따라 유속계를 사용하여 조사지점(St. 1)에서 흐름에 대한 소단면 유속 및 단면적을 산정하여 측정하였다

하천생태계에 있어 저서성 대형무척추동물은 그 종류가 다양하며 하천생태계의 기본을 이루고 있고 서식 지점의 수질오염의 변화에 민감하게 반응하는 것으로 알려져 하천생태계의 특성을 파악하기 위해 널리 연구되고 있다. 저서성 대형무척추동물 채집은 계류용 정량채집망인 Suber net(30 cm×30 cm, 망목 0.5 mm)을 이용하여 가능한 한 각 조사지점에서 미소서식처(riffle, run, pool)를 고려하여 지점당 3회 정량 채집하였다. 채집된 표본은 현장에서 시료병에 담아 Kahle's solution으로 고정하여 실험실로 운반한 후 sorting한 후 종 수준까지 동정하였으며, 종 수준까지 분류가 어려운 종은 외부형태가 확연히 구별되는 개체에 대하여 임의로 상위 단계의 분류군인 파나 속 등의 수준에서 sp. 1 형태로 정리하였다. 종의 동정은 권(2003), 윤(1995), 윤(1998), 원(2005), 川合禎次(2005), 정(2003), Merritt and Cummins

(1996)등의 문헌을 참고하였다.

저서성 대형무척추동물 군집분석

저서성 대형무척추동물의 군집구조를 파악하기 위해 채취시기 및 지점별로 개체수와 종수, 우점종, 종다양성지수, 우점도지수를 산출하여 비교하였다. 종다양성지수는 생물군집에서 종이 얼마나 풍부하고 다양하고 균일하게 존재하는가를 나타내는 지수로서 생물군집의 안정성을 나타내는 지수이며 우점도 지수는 특정 생물종이 군집에서 우점하는 정도를 나타내는 지수이다. 일반적으로 하천에 오염물질이 유입되면 생물군집의 형태는 종다양성 감소, 우점도 증가의 방향으로 변하게 된다. 종다양성지수는 Shannon - Weaver function(H') (Shannon and Weaver, 1949)을 Lloyd and Ghelardi가 변형한 공식(Pielou, 1969)에 따라 산출하였으며, 산출식은 식 (1)과 같다. 우점도지수는 McNaughton's dominance index(DI)(McNaughton, 1967)를 이용하여 산출하였으며 산출식은 식 (2)와 같다.

저서성 대형무척추동물을 이용한 각 조사구간의 생물학적 수질 평가는 물환경종합평가방법 개발 조사연구(환경부, 2006)에서 제안된 한국오수생물지수(KSI, Korean Saprobic Index)를 이용하였는데, 이 값은 각 지표생물군의 오락계급치(S) 및 지표가중치(G)를 적용하여 산출하는 방식이며, 산출식은 식(3)과 같고 등급판정은 Table 2와 같다.

$$\text{종다양성지수}(H') = -\sum(n_i/N) \cdot \log_2(n_i/N) \dots\dots\dots (1)$$

(ni : i 종의 개체수, N : 총개체수)

$$\text{우점도지수}(DI) = (n_1 + n_2)/N \dots\dots\dots (2)$$

(n1 : 우점종, n2 : 아우점종, N : 총개체수)

$$\text{한국오수생물지수}(KSI) = \sum S_i \cdot A_i \cdot G_i / \sum A_i \cdot G_i \dots\dots\dots (3)$$

(Si : i군의 오락계급치, Ai : i군의 출현개체수, Gi : i군의 지표가중치)

Table 2. Biological water quality grade using benthic macroinvertebrates

Grade	Water quality state	Korean Saprobic Index(KSI)
A	Excellent	0,00 ≤ KSI ≤ 1.00
B	Good	1,00 < KSI ≤ 2.40
C	Fair	2,40 < KSI ≤ 3.60
D	Poor	3,60 < KSI ≤ 5.00

결과 및 고찰

온천천 유지용수 현황

현재 온천천 수계의 유지용수는 대부분 상류의 금정산 계곡에서 유하되는 온천천 발원지로부터의 유량과 낙동강 으로부터 도수되는 유량이 합쳐진 값이다. 낙동강 으로부터 도수되는 유량을 당초 계획인 35,000 m³/d라고 가정 하고 별도로 조사한 발원지 유량을 더했을 때, 총유지용 수량은 8회의 조사시기 모두 40,000 m³/d 내외의 일정 한 값을 나타내었다(Fig. 2, a). 발원지로부터의 유량은 1780~7070 m³/d으로 조사되었으며(Fig. 2, b), 이는 총유지용수량의 5~17 %에 해당되는 양이었다. 하지만 조사시점을 강우가 심하거나 가뭄이 심한 시기는 가능한 한 피하였기 때문에 유지용수량의 변동은 이보다 클 것으 로 추정된다. 여러 연구활동에 의하면 온천천의 유지용수 량은 17,500~50,000 m³/d으로 다양하게 제시되고 있으 므로, 발원지로부터의 유량만으로는 이러한 유지용수량 을 만족시키기에는 크게 부족하다는 것을 알 수 있다.

조사기간 중의 수질 특성

각 조사지점의 조사시기에 따른 수질 변동과 8회에 걸

친 수질 분석결과와 평균값을 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내 었다.

수온은 St. 1에서 평균 14.2℃로 가장 낮았으며 낙동 강 물과 나머지 지점은 평균 17 ~ 18 ℃로 큰 차이를 나 타내지 않았으며 조사기간 동안 수온 변동폭은 약 20 ℃ 로 나타났다.

pH는 모든 지점에 평균 7.4 ~ 7.6 사이의 유사한 값 을 나타내었으며, 조사기간 동안 7 ~ 8사이의 값에서 큰 변동을 나타내지는 않았다.

용존산소(DO)는 St. 1에서 평균 11.1 mg/L로 가장 높 은 값을 나타내었고 나머지 지점은 9 ~ 10 mg/L사이의 약간 낮은 값을 나타내었는데 이것은 수온 차이에 따른 포화 농도의 차이에 의한 것으로 생각되며, 대부분의 지 점에서 포화농도에 가까운 높은 DO농도를 나타내었다.

전기전도도는 St. 1에서 평균 76 μ S/cm로 가장 낮았 으며 평균 227 ~ 266 μ S/cm를 나타낸 나머지 지점들 과 큰 차이를 나타내었다. St. 1지점을 제외한 나머지 지 점의 전기전도도는 3월 채수시에 가장 높은 값으로 측정 되어 낙동강 하구의 갈수기인 겨울~초봄의 악화된 수질 에 큰 영향을 받는 것으로 생각된다.

생물화학적산소요구량(BOD)는 St. 1에서 평균 0.7 mg/L로 가장 낮았고, St. 2에서 평균 1.5 mg/L였으며

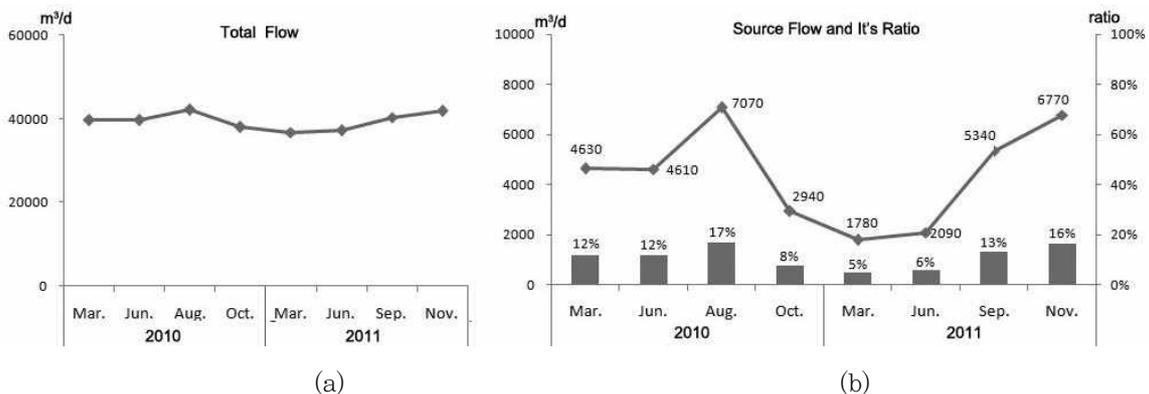


Fig. 2. Maintenance water in Oncheon stream.

(a) Total flow variation

(b) Source flow and it's ratio to the total flow

하류로 갈수록 약간씩 증가해 가장 하류인 St. 5에서는 1.9 mg/L로 가장 높은 값을 나타내었다. 낙동강 원수 유입 후 하류로 갈수록 BOD가 증가하는 것은 강우시 합류 식하수도의 월류수(CSOs)나 도심지의 비점오염원의 유입 등이 하천의 수질에 영향을 미치는 것으로 추정된다. 시기적으로는 2011년 3월 조사시에 한차례 높은 값이 관찰되었다.

화학적산소요구량(COD)도 St. 1에서는 평균 1.6 mg/L로 가장 낮았으나, St. 2에서 평균 4.0 mg/L였으며 하류로 갈수록 약간씩 증가하는 등 BOD와 유사한 경향을 보였다.

부유물질(SS)은 St. 1에서는 평균 1.1 mg/L로 아주 낮았으나, 낙동강 물이 유입된 St. 2에서는 평균 10.3 mg/L 정도로 크게 증가하다가 하류로 갈수록 평균값이 완만히 감소하는 경향을 보였다. 이는 낙동강 원수에서 유입되는 SS가 하류로 흘러감에 따라 침전되어 저감되기 때문으로 생각되며, 따라서 원수의 SS가 증가하게 되면

온천천 상류부에 일정량 퇴적되어 영향을 미칠 것으로 생각된다. 시기별로 SS의 증가 시기는 봄 ~ 여름에 걸쳐 발생하고 있으며, Fig. 5의 강우량과 낙동강 원수의 탁도 패턴과 유사한 점에 비추어 보아 온천천의 SS 농도는 주로 강우에 의한 낙동강 본류의 SS 증가와 큰 관련이 있는 것으로 추정된다.

클로로필-a(chl-a)는 수계의 조류(algae) 농도를 간접적으로 나타내는 지표인데, St. 1에서는 평균 0.5 mg/m³로 거의 검출되지 않았으나, 낙동강 원수가 유입된 St. 2에서는 평균 12.7 mg/m³ 정도로 대폭 증가하다가 하류로 갈수록 완만히 감소하는 경향을 보였다. 시기별로는 주로 겨울~봄에 이르는 시기에 큰 폭의 증가가 관찰되었는데 이는 낙동강 본류의 저수온기인 겨울 ~ 봄 시기에 크게 번식하는 규조류의 영향을 받은 것으로 생각된다.

총질소는 St. 1에서는 평균 0.8 mg/L, St. 2 이후부터는 2.4 ~ 2.8 mg/L의 값을 나타내었으며 하류로 갈수록

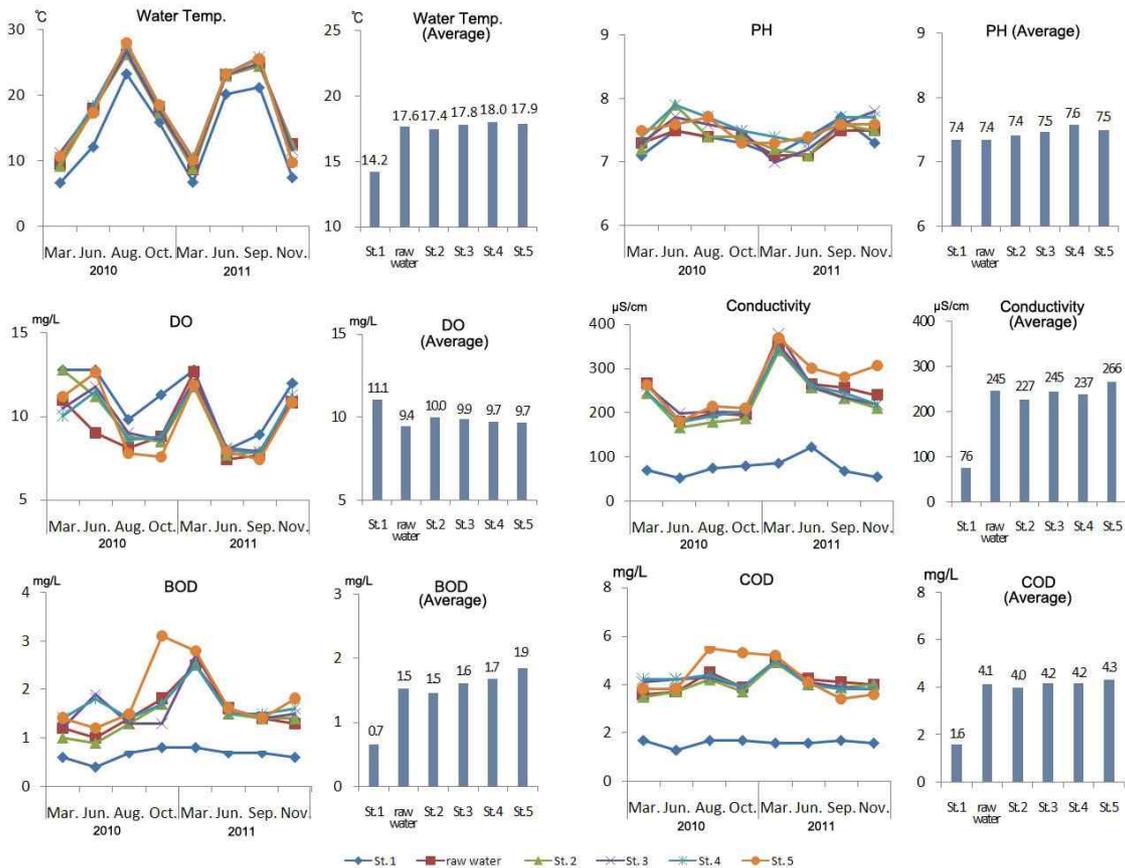


Fig. 3. Water quality variations and average values at study sites (1).

Line graph : Water quality variations, bar graph : average values

소폭 증가하였고, 특히 겨울 ~ 봄의 갈수기에 높아지는 경향을 나타내었다.

총인은 St. 1에서는 평균 0.02 mg/L로 아주 낮았으나, St. 2 이후의 하류부터는 0.06 ~ 0.08 mg/L의 값을 나타내었으며, 총질소와 달리 여름 ~ 가을철에 약간 증가하는 특성을 나타내었다. 이는 총인의 특성상 여름철의 부유물질 증가와 연관되어 검출되는 것이 원인으로 생각된다.

이상의 조사 결과를 살펴 볼때 온천천의 수질은 유지용수량의 대부분을 차지하는 낙동강 물의 수질에 크게 영향

을 받고 있는 것을 알 수 있으며, BOD, COD, T-N 등의 항목은 하류로 갈수록 소폭 증가하고, SS 등의 항목은 침전 등으로 소폭 제거되어 유하되는 것을 알 수 있다.

온천천수계의 저서성 대형무척추동물 특성

저서성 대형무척추동물 군집 조성

온천천 수계에서 2010 ~ 2011년간 8회에 걸쳐 채집된 저서성 대형무척추동물은 총 5문 9강 19목 63종, 총 7760개체였으며, 이 중 비곤충군이 13목 16과 17속 17종, 총 3152개체였고, 곤충군이 6목 26과 35속 46종, 총

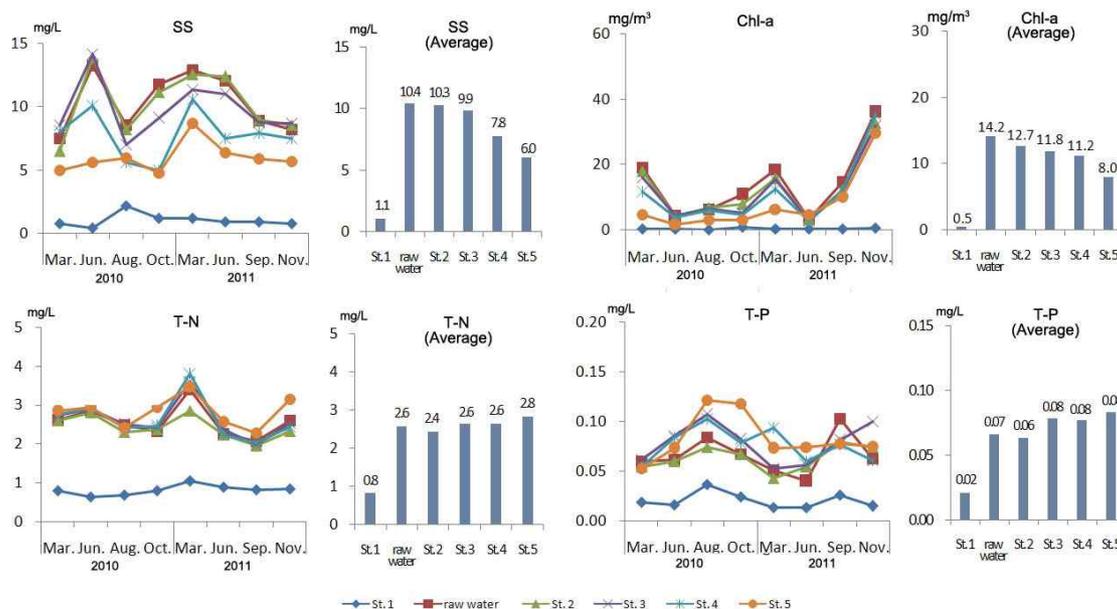


Fig. 4. Water quality variations and average values at study sites (2).

Line graph : Water quality variations, bar graph : average values

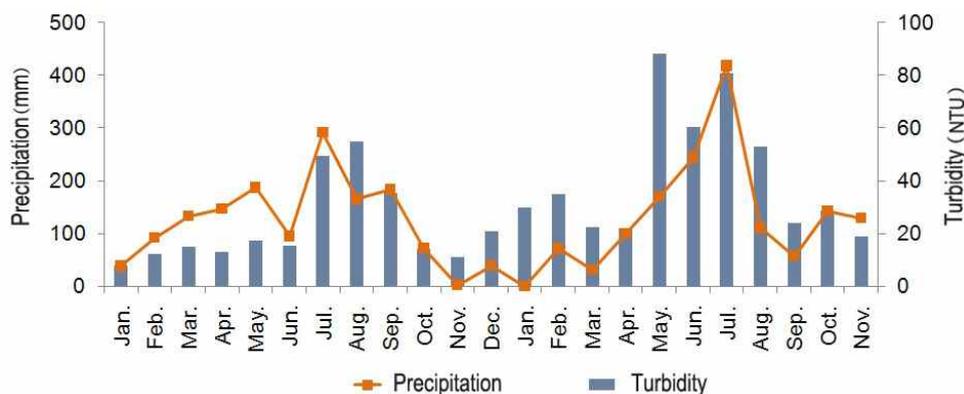


Fig. 5. precipitation in Busan and turbidity variation in Nakdong river (maintenance uptake place).

4608개체로 곤충군이 59%의 개체수 점유율을 차지하였다. 일반적으로 비도심하천의 중상류의 경우, 곤충군이 90%이상의 개체수 점유율을 가지는 경우가 많이 보고되고 있지만, 도심하천인 온천천의 경우는 이와는 상이하여 곤충군의 개체수 점유율이 다른 비도심하천의 경우보다 상대적으로 낮게 나타났다.

각 지점별 분류군별 출현생물 현황을 Table 3에 나타내었다. 낙동강 물이 유입되기 전 지점인 St. 1에서는 하루살이목(Ephemeroptera)이 전체 개체수의 46 %, 중수의 25 %로 가장 큰 분포를 나타내었다. 이어서 낙동강 원수 유입 직후인 St. 2에서도 하루살이목이 전체 개체수의 25 %로 가장 큰 개체수 점유율을 나타내었으나 St. 2는 St. 1에 비해 파리목(Diptera)의 개체수가 크게 증가하여 하루살이목의 점유율과 유사한 약 24 %의 개체수 점유율을 나타내었으며, 중수에 있어서는 총 13종이 출현하여 중수 점유율에 있어서는 오히려 파리목이 하루살이목보다 더 높은 경향을 나타내었다. St. 3에서는 파리목의 개체수가 더욱 증가하여 31 %의 개체수 점유율 및 30 %의 중수 점유율을 나타내어 파리목이 St. 3에서의 가장 큰 분류군으로 조사되었다. 금정구, 동래구 등 주요 도심지구간을 통과하게 되는 St. 4, St. 5 지점에서는 환형동물문의 개체수 점유율이 크게 증가하게 되어 각각 32 %, 56 %의 값을 나타내었다. 하지만 St. 4, St. 5 지점에서의

중수 점유율은 두 지점 모두 파리목이 가장 높아 각각 30 %, 47 %를 나타내었고, 환형동물문의 중수점유율은 각각 15 %, 18 %로 낮게 나타났는데, 이는 이 지점에서 환형동물문의 실지렁이(*Limnodrilus gotoi*)가 크게 번성하는 현상이 빈번하였기 때문이다.

전반적으로 온천천의 저서성 대형무척추동물상을 살펴보면 낙동강 물 유입 전인 St. 1에서는 하루살이목이 주로 번성하나 낙동강 물 유입 후의 St. 2 지점부터는 파리목이 점차 증가하기 시작하여, St. 3지점에서 파리목이 최대로 되고, 이후의 St. 4, St. 5 구간에서는 환형동물문, 특히 실지렁이의 개체수가 큰 폭으로 증가하게 되는 양상으로 요약될 수 있다.

온천천 각 지점별 군집 지수

각 조사지점의 평균 출현개체수 및 평균 중수, 그리고 해당 항목의 표준편차값을 Fig. 6 (a)에 나타내었다. 평균 출현개체수는 382개체인 St. 5 지점에서 가장 많았으며, 그 다음으로 249개체인 St. 1 지점이 많았다. St. 2 ~ St. 4 지점은 평균 85 ~ 121개체가 출현하여 비교적 개체수가 적었다. St. 5 지점의 경우 평균개체수에 대한 표준편차값이 아주 크게 나타나고 있는데 이는 이 지점에서의 채취시기에 따른 개체수 변동이 크게 나타나는 경향을 보여주고 있다. 평균 중수는 St. 1에서 St. 5, 즉 상류에

Table 3. Benthic macroinvertebrates distribution at study sites

Taxa	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4		St. 5		
	Individuals /m ² (%)	Species No.(%)									
PLATYHELMINTHES	241(3%)	1(2%)	459(13%)	1(2%)	170(4%)	1(3%)	37(1%)	1(5%)	-	-	
NEMATODA	37(1%)	1(2%)	48(1%)	1(2%)	59(2%)	1(3%)	178(7%)	1(5%)	67(1%)	1(6%)	
MOLLUSCA	263(4%)	3(6%)	326(9%)	5(11%)	278(7%)	6(20%)	119(5%)	4(20%)	33(0.3%)	3(18%)	
ANNELIDA	1056(14%)	1(2%)	237(7%)	3(7%)	637(16%)	3(10%)	811(32%)	3(15%)	6378(56%)	3(18%)	
ARTHROPODA (non-insecta)	4(0.1%)	1(2%)	59(2%)	3(7%)	156(4%)	2(7%)	19(1%)	1(5%)	4(0.03%)	1(6%)	
ARTHROPODA (Insecta)	Ephemeroptera	3411(46%)	12(25%)	878(25%)	7(16%)	589(15%)	4(13%)	593(24%)	3(15%)	389(3%)	1(6%)
	Odonata	59(1%)	2(4%)	15(0.4%)	1(2%)	7(0.2%)	1(3%)	-	-	-	-
	Plecoptera	159(2%)	5(10%)	7(0.2%)	1(2%)	-	-	-	-	-	-
	Megaloptera	30(0.4%)	1(2%)	22(0.6%)	1(2%)	-	-	-	-	-	-
	Diptera	1659(23%)	11(23%)	863(24%)	13(30%)	1207(30.6%)	9(30%)	685(27%)	6(30%)	4456(39%)	8(47%)
Trichoptera	456(6%)	10(21%)	663(19%)	8(18%)	837(21.2%)	3(10%)	81(3%)	1(5%)	-	-	
Total	7374	48	3578	44	3941	30	2522	20	11326	17	

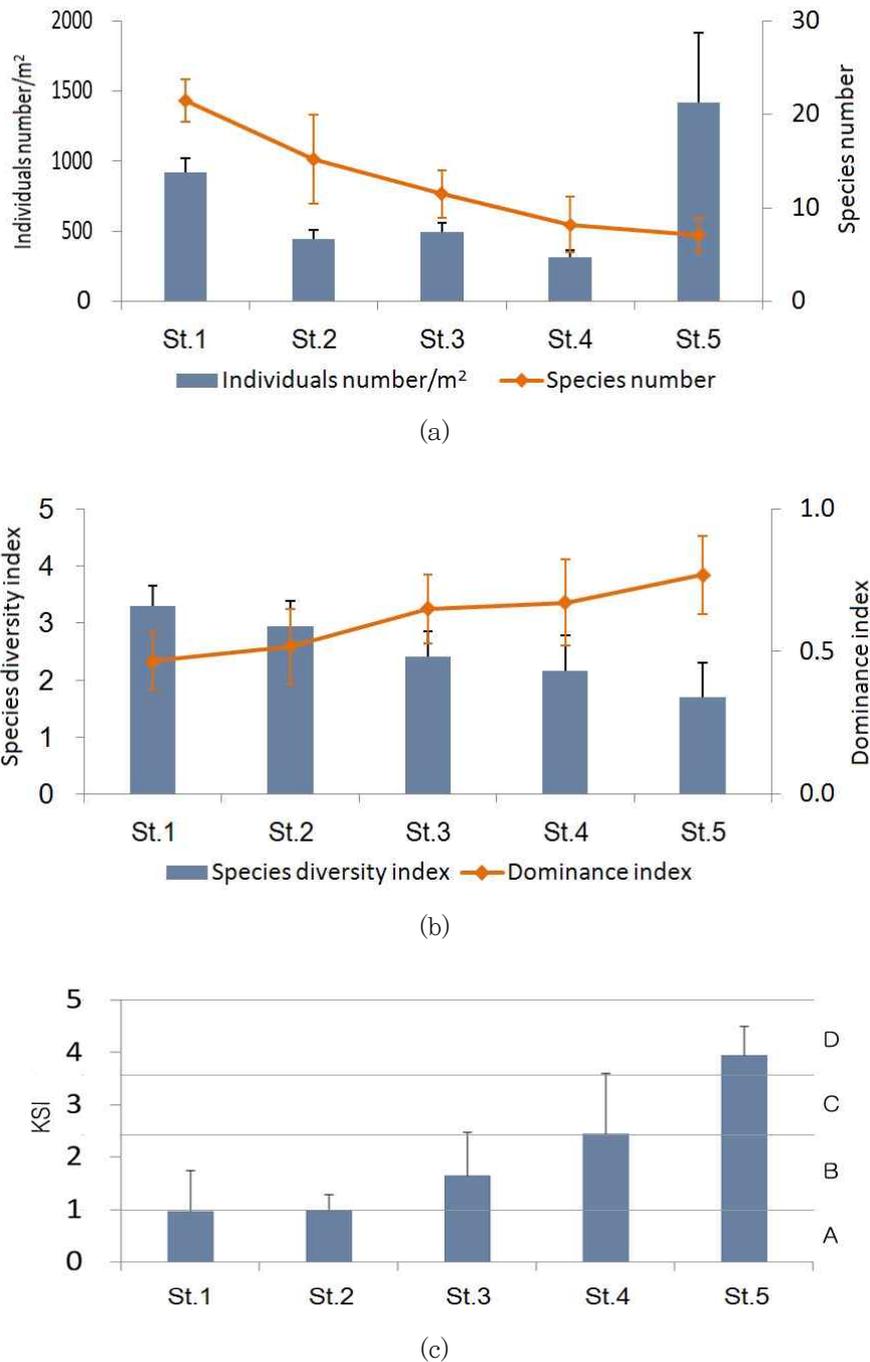


Fig. 6. Ecological index (eight times average) at study sites.

(a) Individuals and species number (b) Species diversity and dominance index (c) KSI
 error bar : standard deviation

서 하류로 갈수록 점차 감소하는 경향을 보이고 있다. 즉 St. 5 지점의 경우에는 가장 많은 개체수가 출현하는 반면 가장 적은 종수를 나타내고 있다. 각 조사지점의 종다양성 지수와 우점도지수의 평균값과 각각의 표준편차를

Fig. 6 (b)에 나타내었다. 종다양성지수는 상류에서 하류로 갈수록 점차 감소하는 경향을 나타내고 있으며 우점도지수는 하류로 갈수록 점차 증가하는 양상을 띠고 있다. St. 2 지점 이후로는 낙동강 원수 유하로 수질이 거의 균

일하지만 하류로 갈수록 도심을 거쳐 지나가는 온천천의 특성상 강우와 관련된 오염부하가 커지기 때문으로 생각된다.

한국오수생물지수(KSI)

각 조사지점의 KSI 평균값을 Fig. 6 (c)에 나타내었다. St. 1~2는 A 등급(아주 양호), St. 3은 B 등급(양호), St. 4는 C 등급(보통), St. 5는 D 등급(불량)으로 하류로 갈수록 오염도가 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 Fig. 3의 수질자료와는 상이한 결과로서, 특히 Site 5는 BOD는 평균 1.9 mg/L로 I b 등급(좋음)이지만, KSI는 D 등급으로 나타나는 등 이화학적 수질평가와 상이한 결과를 나타내고 있다. 이것은 대부분의 수질 채수가 맑은 날에 행해지고 있으며 도심하천의 경우 오염부하가 강우시 일시적으로 유출되는 경향이 있기 때문에 특정일 채수에 의한 이화학적 데이터가 수계 오염부하 특성을 충분히 반영하지 못하기 때문이다.

그리고 낙동강 물 유입 직후인 St. 2 지점이 A등급으로 조사된 결과를 살펴볼 때, 비록 이 지점의 수질이 온천천 상류 St. 1 지점의 물보다 수질은 좋지 않지만 수량적인 안정성 면에서 생태학적 측면에서 상호 보완하여 생태계에 긍정적으로 작용한 것으로 생각된다. 또한 St. 2 지점의 표준편차가 St. 1보다 더 적게 나타난 점도 보다 낙동강 물 유입으로 인한 안정적 유지용수 공급으로 인한 서식처 안정의 결과로 생각된다.

전체 조사시기, 조사지점별 BOD와 KSI 값의 분포도를 Fig. 7 에 나타내었다. 전반적으로 온천천의 BOD는 1 ~ 2 mg/L(I b등급) 범위에서 집중적으로 분포하는데 반해

KSI는 0 ~ 5 범위에서 넓게 분포함을 볼 수 있다. St. 1 지점은 BOD는 1(I a등급) 이내의 안정된 양호한 값을 나타내었으며, KSI는 대부분 1 이내(A 등급)을 나타내었으나 일부 자료는 1 ~ 3(B ~ C 등급)의 값을 나타내었다. 낙동강 원수 유입 이후인 St. 2 ~ 5 지점의 BOD는 모두 1 ~ 2 mg/L(I b등급) 내외로 서로 유사한 분포를 나타내고 있었는데 이것은 낙동강 물의 수질이 크게 변동하지 않았기 때문이다. 한편 BOD와 달리 KSI의 경우는 St. 2에서는 0 ~ 2(A ~ B 등급), St. 3은 0 ~ 3(A ~ C 등급), St. 4는 0 ~ 5(A ~ D 등급), St. 5는 3 ~ 5(C ~ D 등급)으로 넓은 분포를 보이고 있다. 낙동강 물이 공급된 이후의 지점인 St. 2 ~ 4 지점은 하류로 갈수록 KSI 값의 변동이 점차 증가하는 추세를 보이고 있는데, 이는 온천천이 도심지 내부로 유하되기 때문에, 하류로 갈수록 다양한 오염부하에 노출되기 때문으로 생각된다. 특히 가장 하류인 St. 5 지점은 KSI 값의 경우 8번의 조사기간 모두 C ~ D 등급만 받고 있어 조사지점 중 이러한 오염부하가 가장 큰 지점으로 평가된다.

이와 같은 결과로 살펴볼 때 KSI와 같은 하천생물상에 의한 수질평가는 어떤 수역의 수질을 종합적으로 반영하며, 채수 당시의 일시적 수질이 아닌 수계의 평균적인 수질을 대변하므로 온천천과 같은 생태하천을 표방하는 하천에 있어서는 이화학적인 수질조사 뿐 아니라 이와 같은 하천생물상 평가를 보완하는 것이 하천수질 및 생태 관리에 필요하다는 것을 알 수 있다.

조사지점별 우점종 특성

각 조사시기 및 지점별 제1우점종(Dominant species)

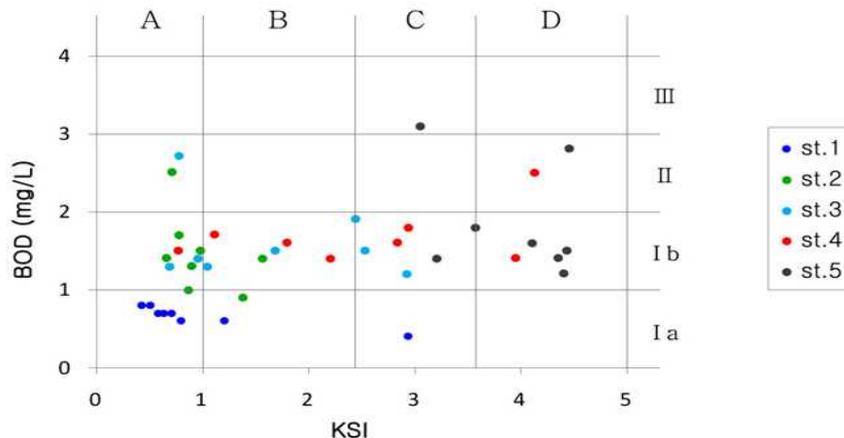
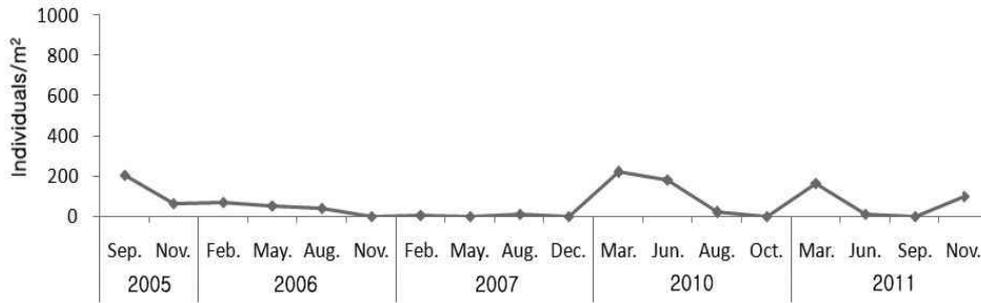


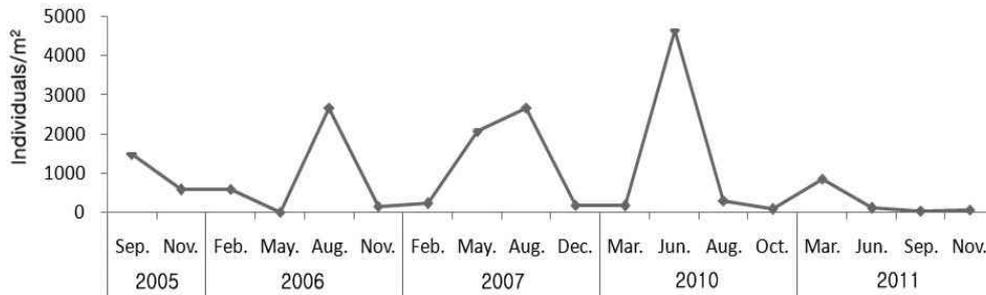
Fig. 7. BOD - KSI relations at study sites.

과 제2우점종(Subdominant species)을 Table 4에 나타내었다. St. 1에는 무늬하루살이(*Ephemera strigata*), 참납작하루살이(*Ecdyonurus dracon*), 네점하루살이(*Ecdyonurus levis*) 등 하루살이목의 수서곤충이 주로 우점하였다. St. 2에서는 St. 1과 달리 꼬마줄날도래(*Cheumatopsyche brevilineata*) 동양줄날도래(*Hydropsyche orientalis*) 등 줄날도래과의 우점률이 높아졌으며 플라나리아(*Dugesia* sp.)와 깔따구류(*Chironomidae* sp.)의 우점빈도가 증가하였다. St. 3에서는 꼬마줄날도래와 깔따구류가 주로 우점하였다. St. 1 ~ St. 3에서는 비교적 맑은 물에 서식하는 하루살이목이나 줄날도래과, 플라나리아류 등이 우점하였으나, St. 4

~ St. 5에서는 오염수역의 지표종으로 알려진 실지렁이류(*Limnodrilus gotoi*)가 빈번하게 우점하였다. 실지렁이류는 주로 봄과 여름에 간헐적으로 다량 번식하는 현상이 관찰되었는데, 이러한 현상은 특히 St. 5 지점에서 현저하게 관찰되었다. 실지렁이류의 과다 번식현상은 St. 4 ~ St. 5지점에서의 종다양성지수를 감소시키는 가장 큰 요인으로 작용하는데 하상이 씻겨 내려가는 장마기간 이후인 9~11월 기간에는 거의 관찰되지 않고 유속이 느린 St. 5지점에서 빈번히 발생하는 점으로 보아, 유기물 등이 하상에 퇴적되는 현상이 실지렁이 다량번식의 원인으로 추정된다. Fig. 8에는 실지렁이류의 번식현상을 2005 ~ 2007년까지의 과거자료를 추가하여 나타내었다.



(a) St. 4



(b) St. 5

Fig. 8. *Limnodrilus gotoi* emergence at St. 4 and St. 5.

Table 4. Dominant and subdominant species

Site	Sampling time	Dominance index	Dominant species	Subdominant species	
St. 1	2010	Mar.	0.56	Chironomidae sp.1	Chironomidae sp.3
		Jun.	0.54	<i>Limnodrilus gotoi</i>	Chironomidae sp.1
		Aug.	0.47	<i>Ecdyonurus dracon</i>	<i>Baetis fuscatus</i>
		Oct.	0.51	<i>Ephemera strigata</i>	<i>Ecdyonurus levis</i>
	2011	Mar.	0.36	<i>Ephemera strigata</i>	<i>Ecdyonurus levis</i>
		Jun.	0.29	Chironomidae sp.1	<i>Ecdyonurus dracon</i>
		Sep.	0.40	<i>Ecdyonurus dracon</i>	<i>Baetis fuscatus</i>
		Nov.	0.60	<i>Ecdyonurus dracon</i>	<i>Limnodrilus gotoi</i>
St. 2	2010	Mar.	0.67	Chironomidae sp.1	<i>Dugesia</i> sp.
		Jun.	0.35	<i>Limnodrilus gotoi</i>	<i>Dugesia</i> sp.
		Aug.	0.60	<i>Baetis fuscatus</i>	<i>Hydropsyche orientalis</i>
		Oct.	0.57	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	<i>Dugesia</i> sp.
	2011	Mar.	0.68	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	Chironomidae sp.2
		Jun.	0.49	<i>Baetis fuscatus</i>	Chironomidae sp.1
		Sep.	0.30	Chironomidae sp.1	<i>Semisulcospira</i> sp.
		Nov.	0.49	<i>Dugesia</i> sp.	<i>Physa acuta</i>
St. 3	2010	Mar.	0.52	Chironomidae sp.1	<i>Asellus</i> sp.
		Jun.	0.69	<i>Limnodrilus gotoi</i>	<i>Baetis fuscatus</i>
		Aug.	0.74	Chironomidae sp.1	<i>Baetis fuscatus</i>
		Oct.	0.72	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	Chironomidae sp.1
	2011	Mar.	0.77	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	Chironomidae sp.1
		Jun.	0.78	Chironomidae sp.1	<i>Baetis fuscatus</i>
		Sep.	0.46	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	Arhynchobdellidae sp.
		Nov.	0.52	Chironomidae sp.1	<i>Radix auricularia</i>
St. 4	2010	Mar.	0.64	<i>Limnodrilus gotoi</i>	Chironomidae sp.1
		Jun.	0.75	<i>Limnodrilus gotoi</i>	<i>Baetis fuscatus</i>
		Aug.	0.56	<i>Baetis fuscatus</i>	Chironomidae sp.1
		Oct.	0.68	<i>Baetis fuscatus</i>	Chironomidae sp.1
	2011	Mar.	0.86	<i>Limnodrilus gotoi</i>	Chironomidae sp.1
		Jun.	0.92	Chironomidae sp.1	<i>Baetis fuscatus</i>
		Sep.	0.48	<i>Baetis fuscatus</i>	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>
		Nov.	0.50	<i>Limnodrilus gotoi</i>	<i>Radix auricularia</i>
St. 5	2010	Mar.	0.90	Chironomidae sp.1	<i>Limnodrilus gotoi</i>
		Jun.	0.92	<i>Limnodrilus gotoi</i>	Chironomidae sp.1
		Aug.	0.82	<i>Limnodrilus gotoi</i>	Chironomidae sp.4 (red type)
		Oct.	0.59	<i>Limnodrilus gotoi</i>	<i>Baetis fuscatus</i>
	2011	Mar.	0.93	<i>Limnodrilus gotoi</i>	Chironomidae sp.4 (red type)
		Jun.	0.74	<i>Limnodrilus gotoi</i>	Chironomidae sp.4 (red type)
		Sep.	0.57	Chironomidae sp.1	<i>Limnodrilus gotoi</i>
		Nov.	0.68	Chironomidae sp.1	<i>Limnodrilus gotoi</i>

낙동강 물 유입 이후의 저서성대형무척추동물 변동 특성

낙동강 물 유입 이후 6년간의 수질 및 저서성대형무척추동물 변동 특성을 살펴보기 위하여 기 실시한 우리 연구원의 2005 ~ 2007 기간 중의 St. 4, St. 5 지점의 자료를 본 연구의 2010 ~ 2011년간의 자료에 추가하여 Fig. 9과 10에 나타내었다(2008~2009년은 자료 없음).

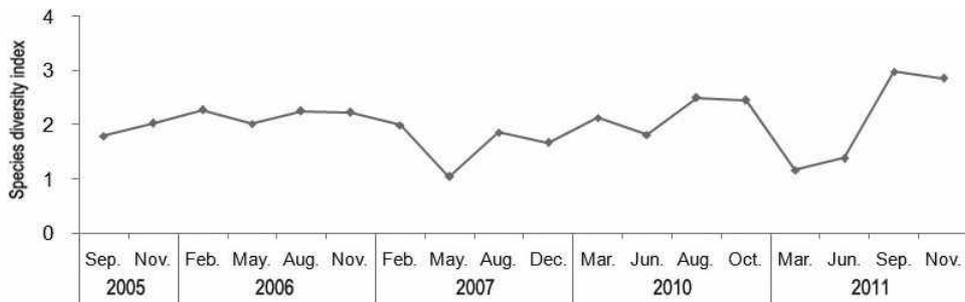
St. 4지점의 종다양성지수는 낙동강 물 유입 이후 대체적으로 2 내외의 값을 유지하고 있다. 2010년 8월과 10월에는 2.50, 2.45, 2011년 9월과 11월에는 2.98, 2.86으로 하반기에 대폭 증가하는 특성을 보이고 있었으나 2011년 상반기에는 1.17, 1.39로 오히려 감소하는 등의 변동이 심한 모습을 보이고 있다. St. 4지점의 KSI 지수 역시 변동이 심한 모습을 보이고 있다. 하지만 때때로 종다양성지수가 3에 가까운 값을 나타내고, KSI지수가 A등급을 나타내는 등의 양호한 생태적 특성을 보이는 사례가 2011년을 기점으로 나타나고 있는 점은 이 지점에서의 긍정적인 생태학적 변화를 기대할 수 있다고 생각된다.

St. 5지점의 종다양성지수는 2005 ~ 2006년에는 거의 0에 가까운 값까지 하락한 경우도 있었고 그 변동폭도 매우 컸으나 2010년 하반기 이후에는 2 내외의 비교적 안정된 값을 보여주고 있다. 과거 St. 5 지점의 KSI지수는

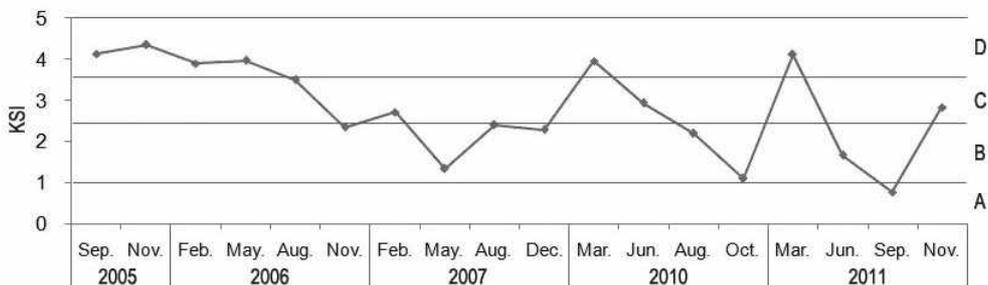
대부분 D등급으로 나타났으나 2010년 하반기 이후에는 C 등급으로 평가되는 사례가 늘고 있는 점도 주목할 필요성이 있다고 생각된다.

결 론

1. 조사기간 동안의 온천천 유지용수는 온천천 발원지로부터의 유량과 낙동강으로부터 도수되는 유량이 합쳐진 값으로 생각할 때 40,000 m³/d 내외의 일정한 값을 나타내었다. 발원지로부터의 유량은 1780 ~ 7070 m³/d이며 발원지로부터의 유량만으로는 온천천의 유지용수량을 만족시키기에는 크게 부족한 실정이다.
2. 이화학적 수질은 5개 조사지점과 낙동강 물 유입지점 등 총 6지점에서 총 10항목을 분석한 결과를 살펴 볼 때 온천천의 수질은 유지용수량의 대부분을 차지하는 낙동강 물 수질에 크게 영향을 받고 있는 것을 알 수 있으며, BOD, COD, T-N 등의 항목은 하류로 갈수록 소폭 증가하고, SS 등의 항목은 침전 등으로 소폭 제거되어 유하되는 것을 알 수 있다.
3. 온천천 수계에서 2010~2011년간 8회에 걸쳐 채집된 저서성 대형무척추동물은 총 5문 9강 19목 63종, 총

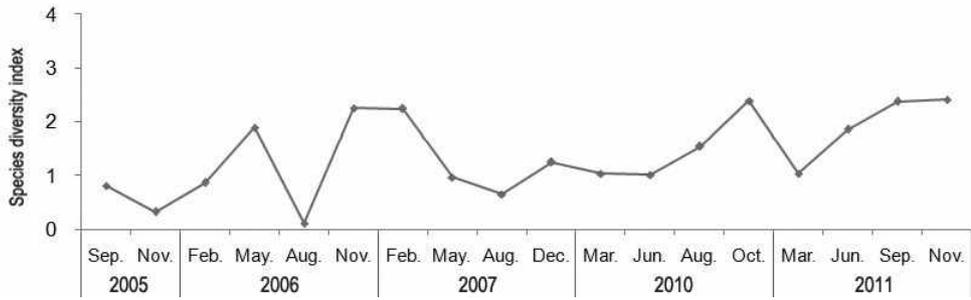


(a) Species diversity index variation

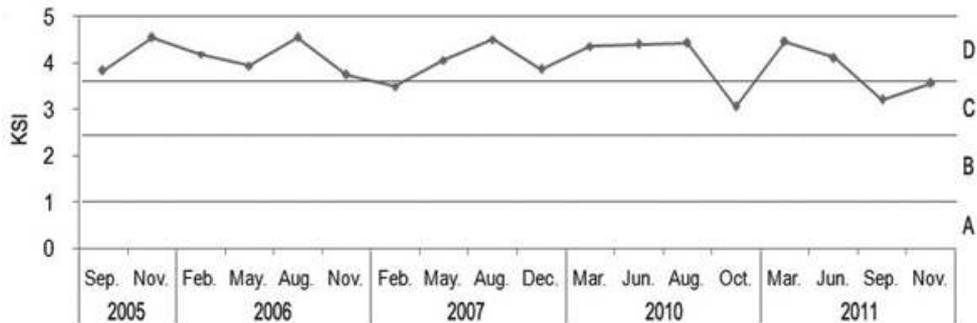


(b) KSI variation

Fig. 9. Species diversity index and KSI variation at St. 4.



(a) Species diversity index variation



(b) KSI variation

Fig. 10. Species diversity index and KSI variation at St. 5.

7760개체였으며, 이 중 비곤충군이 13목 16과 17속 17종, 총 3152개체였고, 곤충군이 6목 26과 35속 46종, 총 4608개체로 곤충군이 59%의 개체수 점유율을 차지하였다.

4. 전반적으로 온천천의 저서성무척추동물상을 살펴보면 낙동강 물 유입 전인 St. 1에서는 하루살이목이 주로 번성하나 낙동강 물 유입 후의 St. 2 지점부터는 파리목이 점차 증가하기 시작하여, St. 3 지점에서 최대로 되고, 이후의 St. 4, St. 5 구간에서는 환형동물문, 특히 실지렁이의 개체수가 큰 폭으로 증가하게 되는 양상으로 요약될 수 있다.
5. 각 조사지점의 종다양성지수는 온천천의 상류에서 하류로 갈수록 점차 감소하는 경향을 나타내고 있으며 우점도지수는 하류로 갈수록 점차 증가하는 양상을 띠고 있다. St. 2 지점 이후로는 낙동강 물 유하로 수질이 거의 균일하지만 하류로 갈수록 도심을 거쳐 지나가는 온천천의 특성상 강우와 관련된 오염부하가 커지기 때문으로 생각된다.
6. 각 조사지점의 KSI의 평균값을 Fig. 5에 나타내었다. St. 1, St. 2은 둘 다 A등급(아주 양호), St. 3은 B등급(양호), St. 4는 C등급(보통), St. 5는 D등급(불

량)의 수질으로 조사되었다.

7. St. 1 ~ St. 3에서는 비교적 맑은 물에 서식하는 하루살이목이나 줄날도래과, 플라나리아류 등이 우점하였으나, St. 4 ~ St. 5에서는 오염수역의 지표종으로 알려진 실지렁이류가 빈번하게 우점하였다. 실지렁이류는 주로 봄과 여름에 간헐적으로 다량 번식하는 현상이 관찰되었는데, 이러한 현상은 특히 St. 5 지점에서 현저하게 관찰되었다. 실지렁이류의 과다 번식현상은 St. 4 ~ St. 5 지점에서의 종다양성지수를 감소시키는 가장 큰 요인으로 작용하였다.
8. 낙동강 물 유입 이후 6년간의 수질 및 저서성대형무척추동물 변동 특성을 종다양성지수와 KSI지수의 값을 통해 살펴보았을 때 도심하천의 특성상 비교적 변동이 크게 발생하는 모습을 보이고 있지만 St. 4 지점에서 때때로 종다양성지수가 3에 가까운 값을 나타내고, KSI지수가 A등급을 나타내는 등의 양호한 생태적 특성을 보이는 사례가 2011년을 기점으로 나타나고 있고 St. 4 지점에서도 과거 St. 5 지점의 KSI지수는 대부분 D등급으로 나타났으나 2010년 하반기 이후에는 C 등급으로 평가되는 사례가 늘고 있어 긍정적인 생태학적 변화를 기대할 수 있다고 생각된다.

참고문헌

1. 권오길, 박갑만, 이준상, 한국패류도감(1993).
2. 김명철, 낙동강의 식물플랑크톤 군집동태와 규조류 *Stephanodiscus*의 번성기작, 부산대학교 대학원 박사학위청구논문, pp.1~15(2008).
3. 김익수, 박종영, 원색도감 한국의 민물고기, 교학사 (2006).
4. 부산발전연구원, 낙동강 물 도수에 의한 온천천 유지용수 확보방안(2004).
5. 원두희, 한국의 수서곤충(2005).
6. 윤일병, 한국식물도감 제 30권 동물편(수서곤충류), 문교부(1988).
7. 윤일병, 수서곤충검색도설(1995).
8. 장주형, 김상단, 성기준, 신현석, 온천천 유지용수 공급에 따른 생태수문환경변화 분석, 한국환경과학회지 6(8), pp.973~983(2007).
9. 정평림, 한국의 담수패류(2003).
10. 환경부, 국립환경과학원, 물환경종합평가방법 개발 조사연구(Ⅲ)(2006).
11. 환경부, 국립환경과학원, 수생태건강성조사 및 평가 최종보고서(2008).
12. 환경부, 수질오염공정시험기준(2008).
13. 환경부, 수생태계 건강성 조사계획 수립 및 지침 (2007).
14. Hellowell J.M. Biological indicators of freshwater pollution and environmental management, Elsevier Applied Science Publishers, London, England(1986).
15. MaNaughton S.j, Relationship among functional properties of California Grassland. Nature 216 pp.168~169(1967).
16. Merritt, R.W. and K.W. Cummins. An introduction to the aquatic insects of North America. 3rd, ed. Kendall/Hunt Publ. Co(1996).
17. Pielou, E. C. An introduction to mathematical ecology. Wiley-Interscience, New York(1969).
18. Shannon CE and W. Weaver. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana(1949).
19. USEPA, Rpid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers pp.112(1999).
20. 川合禎次, 日本産水生昆虫(2005)