

## 도심하천 유지용수 공급에 따른 하천 생태변화 연구 - 부산 확장천과 석대천 사례 중심 -

손정원<sup>†</sup> · 차영욱 · 박정옥 · 이유정 · 이소림 · 이경심  
환경조사과

### A Study on Ecological Variations of Urban Streams after Maintenance Water Supply - A case study in Hakjang stream and Seokdae stream -

Son Jung-won<sup>†</sup>, Cha Yung-wook, Park Jeong-ok, Lee You-jung, Lee So-lim and Lee Kyung-sim  
Environmental Research Division

#### Abstracts

Water quality and Benthic macroinvertebrate communities were investigated at three sites of Hakjang stream and four sites of Seokdae stream before and after maintenance water supply. The water from Nakdong river was supplied into Hakjang stream since 2011. After water supply in Hakjang stream, water quality parameters such as BOD had generally improved but there still have a few water quality fluctuation cases during the study period. Benthic macroinvertebrate was collected to total 21 species 4721 species in Hakjang stream sites. *Limnodrilus gotoi*, organic pollution tolerant species, was highly dominated in this period. After water supply in 2011, species number increased slightly but individual density was fluctuated severely because of the prosperity of its intermittant pollution tolerant species, species number, species diversity index and individual density of benthic macroinvertebrate has increased generally after water supply in Hakjang stream.

After supply of maintenance water into Seokdae stream, water quality indice such as BOD were somewhat deteriorated because its supplied water source is sewage treatment effluent. Benthic macroinvertebrate was collected total 24 species 2861 species in Seokdae stream sites and dominant species was *Baetis fuscatius*, Chironomidae sp. Excessive flourishing of *Limnodrilus gotoi* was not observed in these sites unlike Hakjang stream sites. After maintenance water supply, both species number and individual density increased slightly but species diversity index decreased slightly and KSI value was not clearly changed because of species number and individual density increase of pollution tolerant species.

**Key words** : Hakjang stream, Seokdae stream, Maintenance water, Benthic macroinvertebrates

#### 서 론

최근 시민의 소득수준이 높아지고 환경의식이 성숙함에 따라 도심하천의 친수공간 및 생태적인 공간으로서의 기능이 크게 부각되고 있다. 그러나 부산시의 대부분의 도심하천은 지천이 흐르는 유역면적이 대부분 도시화되어

불투수면적이 확대되었고 방재를 위한 신속한 우수배제가 우선시되어 하천 유지용수량이 크게 부족한 실정이다. 하천 환경과 생태계를 건전하게 유지하기 위해서는 양호한 수질과 풍부한 수량 확보가 필수적인 과제이며, 특히 유지용수량 확보는 하천이 하천으로서 기능하기 위한 최소한의 선결조건이라고 할 수 있다. 이에 부산시는 하천의

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail : jwson@korea.kr

Tel : +82-51-309-2917, Fax : +82-51-309-2969

생태학적 복원을 도모하고자 관내 도심하천에 대하여 다양한 유지용수 공급체계를 갖추어 하천의 수질 및 생태적 상황을 개선하고자 노력하고 있다.

학장천은 낙동강 제 1지류로서 백양산에서 발원하여 구덕천, 감전수로와 합류하여 낙동강으로 유입하는 하천으로 그 유역이 부산진구, 사상구에 걸쳐져 있는 서부산권의 대표 하천의 하나이다. 현재 상류 일부구간은 복개되어 있으며 복개가 끝나는 주학교 지점에 차집관거를 설치하고, 오수와 하천수를 합해 전량 장립하수처리장으로 이송 처리 중이다. 학장천은 주변도심 및 사상공업단지의 각종 오·폐수 유입과 유지용수 부족으로 악취발생 및 도시미관을 저해하고 있어 2007년도부터 하천 확폭, 냉정샘물 공급, 생태호안 조성 등의 환경개선사업을 실시해왔다. 특히 2011년 6월부터는 낙동강변으로부터 약 3만 m<sup>3</sup>/day 용량의 하천수를 유지용수로 끌어올 수 있는 시설을 건설하여 학장천의 수질과 생태환경을 개선하는 계기를 마련하였다.

석대천은 수영강의 지류로서 기장군 철마면에서 발원, 해운대구 반송동을 거쳐 수영강 좌안으로 유입되는 하천으로 기장군 철마면, 해운대구 반송동, 반여동을 유역으로 하는 총 연장 약 7.8 Km의 하천이다. 석대천은 과거 반송지역의 오수 유입으로 오염이 심했으나 하수처리시설 완비로 수질이 크게 개선된 바 있다. 그러나 한편 하천유지용수량은 부족하여 하천의 생태적 기능 확보에는 한계가 있었다. 이에 2006년 10월경 동부하수처리장의 고도처리수를 약 7 Km 북쪽의 석대천 중류로 압송하여 약 20000~40000m<sup>3</sup>/day 정도를 유지용수로 공급하고 있다.

학장천과 석대천 모두 하천의 생태학적인 복원을 위해서 가장 중요한 문제는 하천의 유지용수를 확보하는 문제이며 두 하천 모두 인위적인 물 공급을 통해 유지용수를 확보하고 있다. 이러한 방식은 에너지 비용 문제가 있으나 한정된 예산으로 빠르게 유지용수를 공급할 수 있다는 장점이 있으며, 단기간에 가시적인 성과를 시민들에게 제시하여 향후에 추진할 다양한 하천복원사업에 있어서의 강한 추진력을 확보할 수 있는 장점이 있다고 생각된다.

이번 연구에서는 학장천과 석대천을 중심으로, 하천 수질과 생태적 변동(저서성 대형무척추동물 중심)을 조사하고자 하며 조사결과를 토대로 유지용수 공급 전후의 하천 수질, 생태적 상태를 시간, 공간적으로 비교하여, 생태학적인 하천복원사업의 성과를 평가하고 향후 바람직한 생태하천 복원기법에 대한 이해를 높이고자 하여 유지용수 공급을 통한 하천복원 자료 축적, 타 복원사업의 선례를 확보하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 조사지점 및 조사시기

본 연구는 학장천과 석대천을 대상으로 하였으며 조사지점은 Fig. 1에 조사시기는 Table 1에 나타내었다. 학장천은 2011년 6월부터 낙동강변의 강물을 취수하여 약 4 Km 떨어진 학장천 중류로 압송하여 유지용수로 방류하고 있다. 방류지점 상류는 현재 약 1 Km 정도 부분 복개되어 있으며, 방류지점의 하부에는 합류식하수관거의 차집시설이 있다. 학장천의 조사지점은 유지용수 방류지점으로부터 약 300m 하류(H1), 구덕천 합류점에서 약 600m 하류(H2), 그리고 구덕천 지점(H3)으로 선정하였다. 조사는 2010년~2012년간 총 6회 실시하였으며 유지용수 방류 이전에 2회, 이후에 4회 실시하였다. 조사기간 중 유지용수 방류는 하천공사, 민원발생 등, 장비 고장 등의 이유로 빈번하게 중지되는 상태이었고 주로 주간에 방류가 행해지고 있었다. 석대천은 동부하수처리장 방류수가 하천 중류의 반석교 지점에 유입되고 있다. 조사지점은 반석교 상류 2지점, 하류 2지점 총 4지점이며, 반석교 상류의 500 m 지점(S1), 50m지점(S2), 반석교 300m 하류 지점(S3), 그리고 S3 지점으로부터 500m 하류 지점(S4)으로 선정하였다. 본래 석대천 유지용수 방류는 2006년 10월경부터 실시하였으나, 2011년 4월부터 하천공사로 인해 방류가 중지되었으며, 2012년 2월에 다시 재개되었다. 조사시기는 2011년~2012년간 4회 실시하였는데 방류가 중지된 시기에 2회, 방류가 다시 개시된 시기에 다시 2회 실시하였다.

### 조사항목

이화학적 수질은 총 10항목 분석하였으며, 수온, pH, DO, 전기전도도는 현장측정기(YSI-556MPS)를 이용해 현장 측정하였으며, BOD, COD, SS, chl-a, T-N, T-P, 총대장균군은 시료 2L를 현장에서 채수하여 운반 후 실험실에서 분석하였고 채수 및 분석 등 수질 분석과 관련된 제반 사항은 수질오염공정시험기준(환경부, 2008)에 의거하여 실시하였다.

하천 생태조사는 저서성 대형무척추동물을 대상으로 실시하였는데, 이는 저서성 대형무척추동물이 그 종류가 다양하며 하천생태계의 기본을 이루고 있고 수질 변화에 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있기 때문이다. 저서성 대형무척추동물 채집은 계류용 정량채집망인 Suber net (30cm×30cm, 망목 0.5mm)을 이용하여 가능한 한 각

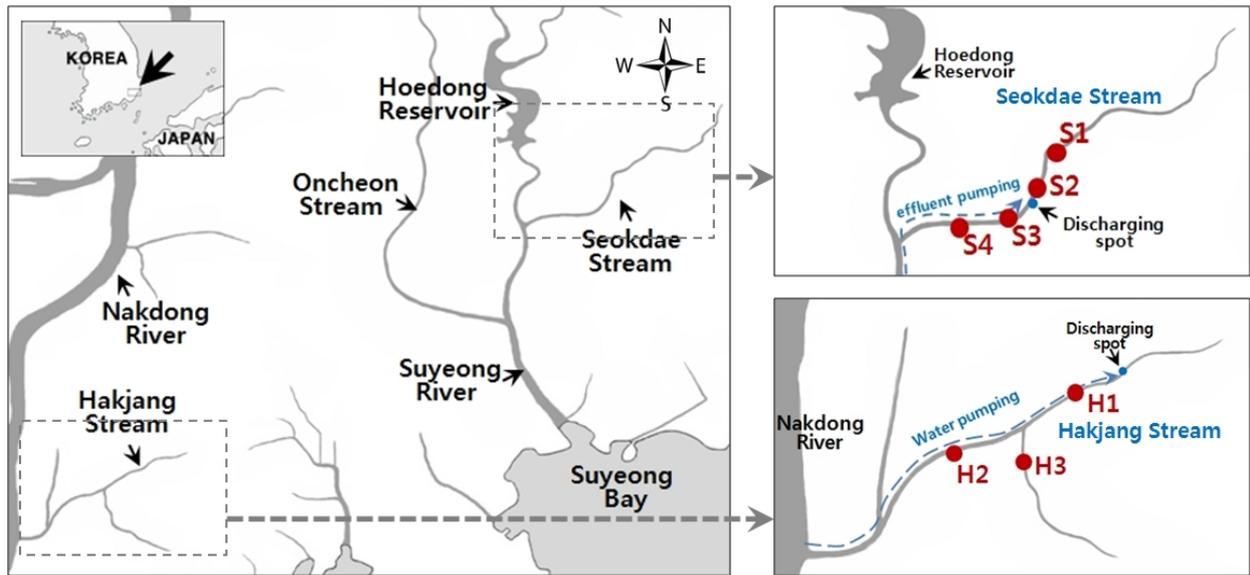


Fig. 1. Map showing the sampling site (Hakjang stream & Seokdae stream).

Table 1. Sampling day of this study

Stream	Year	2010		2011		2012	
Hakjang stream		6/04		5/18	11/01	2/28	5/10 9/25 11/16
Seokdae stream		-			11/03	2/07	5/08 10/12

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 외부 형태가 확연히 구별되는 개체에 대하여 임의로 상위 단계의 분류군인 과나 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, 종다양성 지수, 우점도지수를 산출하여 비교하였다. 종다양성 지수는 생물군집에서 종이 얼마나 풍부하고 다양하고 균일하게 존재하는가를 나타내는 지수로서 생물군집의 안정성을 나타내는 지수이며 우점도 지수는 특정 생물종이 군집에

서 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.

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

(n<sub>i</sub> : i 종의 개체수, N : 총개체수)

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

(n<sub>1</sub> : 우점종, n<sub>2</sub> : 아우점종, N : 총개체수)

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 지표생물

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

군의 오락계급치(S) 및 지표가중치(G)를 적용하여 산출하는 방식이며, 산출식은 식(3)과 같고 등급판정은 Table 2와 같다.

$$\text{한국오수생물지수(KSI)} = \frac{\sum Si \cdot Ai \cdot Gi}{\sum Ai \cdot Gi} \dots (3)$$

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

### 결과 및 고찰

#### 유지용수 수질

학장천 유지용수로 공급되는 낙동강 물의 평균 수질은 하구언을 기준으로 할 때 2012년도에 BOD 4.2, SS 19.7, T-N 3.1, T-P 0.13 mg/L 으로 다소 SS의 농도가 높은 특징을 가지고 있다. 석대천 유지용수로 공급되는 동부하수처리장 방류수의 평균 수질은 2012년 기준, BOD 2.8, SS 3.6, T-N 13.3, T-P 0.38 mg/L 의 값을 나타내었는데 낙동강 물에 비해 BOD, SS의 농도는 낮으나 영양염류의 농도는 높은 특징을 가지고 있다.

#### 조사지점의 수질 특성

각 조사지점의 조사시기별 수질 분석결과를 Table 3에 나타내었다. 학장천 H1 지점은 유지용수 공급 전 (2011년 6월 이전)에는 생물화학적산소요구량(BOD) 17.3~46.0 mg/L, 부유물질(SS) 25.8~170.7 mg/L 의 값을 나타내는 등 전반적으로 악화된 수질이 관찰되었으나 유지용수 공급 이후에는 상대적으로 양호한 수질을 나타내었지만, 한편 유지용수설비의 가동 유무 등에 따라 BOD가 1.9~13.8 mg/L로 변동하는 등 수질의 변동폭은 아직도 비교적 크게 나타났다. H2 지점은 지천인 구덕천의 합류로 비교적 일정한 유량이 흐르는 지점으로 유지용수 공급 전에는 BOD 3.9~12.9 mg/L, SS 11.8~34.0 mg/L 의 값을 나타내었고, 공급 후에는 BOD 2.0~4.4 mg/L, SS

6.1~12.1 mg/L으로 H1지점보다 상대적으로 안정되고 양호한 수질을 나타내었다. H3 지점은 학장천의 지류인 구덕천 지점으로 BOD 1.1~1.6 mg/L으로 전반적으로 양호한 수질을 나타내었다. 학장천은 조사기간 중 유지용수 공급이 연속적으로 이루어지지 않아 채수시기에 따른 수질 변동폭이 매우 컸다. 2012년 2월 28일과 5월 10일은 채수 당시 유지용수가 일시 중단된 상태였다. 또한 학장천은 강우시 합류식 하수관거의 유출수(CSOs)에 의해 큰 영향을 받는 지점이기 때문에 잦은 강우시 수질은 예측하기 어렵게 변하는 특성을 가지고 있었다.

석대천도 조사시기 동안 크고 작은 하천 공사가 이어지는 상태였기에 가능한 공사시기를 피해 채수를 실시하였으나 그 영향을 완전히 배제하기 어려웠던 것으로 생각된다. 석대천은 전반적으로 학장천에 비해 양호한 수질 조건을 가지고 있었으며 S1~S3 지점의 경우 BOD 2~4 mg/L의 범위를 나타내었으나, S4지점의 경우 4~6 mg/L의 범위를 나타내는 등 하류 지점에서 약간의 수질 오염도 증가가 관찰되었다. 또한 유지용수 공급이 재개된 2012년 2월 23일 이후에는 유지용수가 흐르는 지점인 S3, S4지점에서 총질소(T-N), 총인(T-P)의 값이 각각 8,804 ~ 10,320, 0.288~0.518 mg/L로 다소 증가된 값이 관찰되었다.

학장천과 석대천의 유지용수가 공급되는 지점인 H1, H2, S3, S4 지점에서의 유지용수 공급전후의 수질 변동을 비교하기 위하여 Fig. 2에 유지용수 공급 전후의 BOD, COD, SS 평균값을 각각 구하여 비교하였다. 학장천의 경우 유지용수 공급 이후에 전반적으로 수질이 크게 개선된 것을 확인할 수 있는데 특히 H1 지점에서 수질 개선이 현저하였다. 석대천은 유지용수 공급으로 하류지점의 유량이 크게 확보되었으며, 조사시기에는 하천공사가 석대천의 하류에 집중되는 등의 영향으로 하상세굴, 탁수 유입 등의 하천교란이 있어 다소의 수질변동이 있었다.

Table 3. Water quality values at study sites

Site	Time	Temp. (°C)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	E.C. ( $\mu$ S/cm)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Chl-a ( $\mu$ g/L)	Total Coliforms (MPN/100mL)
H1	2010.06.04.	22.1	7.9	7.0	17.3	18.0	25.8	740	7.115	0.533	75.1	7900000
	2011.05.18.	20.6	7.5	2.4	46.0	42.0	170.7	729	19.750	1.340	25.0	94000000
	2011.11.01.	20.3	7.1	7.2	2.9	5.4	14.5	291	2.086	0.066	43.7	13000
	2012.02.28.	3.8	8.0	11.4	13.8	13.7	29.9	404	3.912	0.296	20.3	220000
	2012.05.10.	16.5	7.4	2.9	12.0	16.0	11.8	349	13.305	2.319	91.5	2300000
	2012.09.25.	21.3	7.3	9.0	1.9	3.8	16.7	130	2.237	0.181	67.0	17000
	2012.11.16.	13.2	7.8	9.2	2.1	4.2	7.6	303	2.953	0.094	60.7	4600
H2	2010.06.04.	21.0	7.8	8.0	3.9	6.8	11.8	548	4.506	0.097	23.8	1700000
	2011.05.18.	21.2	7.5	5.8	12.9	17.5	34.0	464	14.550	1.210	11.6	11000000
	2011.11.01.	20.5	7.2	7.2	2.4	5.4	11.7	286	2.455	0.091	24.0	26000
	2012.02.28.	4.0	8.2	15.0	2.0	5.1	12.1	312	3.118	0.120	11.4	70000
	2012.05.10.	17.3	7.8	5.8	3.5	5.4	10.7	284	3.884	0.151	18.2	11000
	2012.09.25.	20.5	8.0	11.8	4.4	4.2	11.8	204	3.907	0.171	37.8	31000
	2012.11.16.	13.4	8.2	10.9	2.3	4.0	6.1	312	3.106	0.104	41.2	7900
H3	2010.06.04.	18.3	7.7	9.2	1.3	3.8	2.2	308	3.152	0.052	3.5	17000
	2011.05.18.	17.2	7.4	11.6	1.1	3.6	2.4	220	4.589	0.108	2.9	46000
	2011.11.01.	20.7	7.2	8.9	1.2	2.6	2.5	302	4.571	0.104	3.4	17000
	2012.02.28.	5.3	7.9	14.7	1.6	2.2	2.6	301	2.527	0.122	1.1	7900
	2012.05.10.	16.0	7.8	11.6	1.3	2.0	3.8	211	4.657	0.142	1.5	13000
	2012.09.25.	20.1	8.1	12.2	1.2	2.0	2.9	178	3.605	0.098	0.6	11000
	2012.11.16.	12.2	7.9	12.5	1.5	2.6	3.7	230	2.403	0.092	4.0	4900
S1	2011.11.03.	13.5	7.3	12.7	2.0	2.8	2.6	380	5.250	0.138	8.2	9400
	2012.02.07.	3.6	7.5	14.9	2.9	3.2	3.6	410	4.326	0.133	13.2	7900
	2012.05.08.	18.0	7.8	11.6	3.5	4.8	7.3	357	3.897	0.118	31.6	110000
	2012.10.12.	20.1	8.0	9.8	3.7	7.4	3.1	379	4.394	0.140	3.1	22000
S2	2011.11.03.	13.3	7.4	12.8	2.3	3.2	3.6	395	5.158	0.135	6.1	7900
	2012.02.07.	3.2	7.4	14.7	3.4	6.4	5.3	425	4.310	0.192	13.4	4600
	2012.05.08.	18.1	7.6	10.0	3.2	4.6	7.5	366	4.017	0.396	27.4	33000
	2012.10.12.	21.6	8.1	10.1	4.0	7.6	4.8	1002	7.008	0.238	3.3	23000
S3	2011.11.03.	13.6	7.2	13.9	2.4	3.2	4.4	395	5.180	0.141	6.2	13000
	2012.02.07.	3.3	7.4	13.3	3.4	6.6	5.0	424	4.344	0.187	12.6	7000
	2012.05.08.	18.0	7.8	9.9	3.6	5.0	8.1	1373	8.804	0.484	33.8	14000
	2012.10.12.	21.0	8.0	10.4	3.6	7.4	4.3	1490	9.624	0.288	2.8	9400
S4	2011.11.03.	13.8	7.3	12.4	4.3	5.6	5.4	412	15.050	0.150	6.3	7000
	2012.05.08.	18.1	7.7	10.2	5.8	8.0	10.2	895	9.220	0.518	17.6	11000
	2012.10.12.	22.6	7.9	8.8	4.7	10.0	4.5	1549	10.320	0.324	3.4	7900

저서성대형무척추동물 출현 특성

저서성 대형무척추동물 군집 조성

조사기간 동안 학장천에서 총 21종 4721개체의 저서성 대형무척추동물이 채집되었는데 H1 지점에서 9종 1287개체, H2 지점에서 13종 2258개체, H3 지점에서 16종 1176개체가 채집되었다. 채집 생물종별 지점별 합계를 Table 3에 나타내었다. H1, H2 지점에서는 실지렁이류 (*Limnodrilus gotoi*)가 크게 우점하였으며, H3 지점에서는 개똥하루살이(*Baetis fuscatus*), 깔따구류 (*Chironomidae sp.*) 등 II~III 급수에서 주로 관찰되는 생물이 많이 채집되었으며, 플라나리아(*Dugesia sp.*)와 같은 청정한 수질 지표종도 다량 관찰되어 비교적 수질환경이 양호한 것으로 생각된다.

각 채집지점별 채집생물을 곤충과 비곤충으로 나누어 Fig. 3에 비교하였다. H1, H2지점은 비곤충 개체수가 각각 1134, 1987 개체로 두 지점 모두 전체 개체수의 88%

를 차지하여 출현 생물의 대부분을 차지하였다. 이것은 H1, H2 지점에서 채집된 실지렁이류가 각각 전체 채집개체수의 86, 84%를 차지할 정도로 크게 번식하였기 때문이다. 실지렁이류는 유기성오염이 심한 지점에서 폭발적으로 증식하는 경향이 있어, 학장천 지점에서의 CSOs 유입과 같은 간헐적인 유기성 오염이 여전히 계속되고 저니에 축적되고 있다는 것을 의미하고 있다.

석대천에서는 총 24종 2861개체의 저서성 대형무척추동물이 채집되었는데, S1 지점은 12종 386개체, S2 지점은 20종 831개체, S3 지점은 19종 911개체 그리고 S4 지점은 17종 733개체가 채집되었다. 석대천 조사지점에서는 대부분 개똥하루살이(*Baetis fuscatus*), 깔따구류 (*Chironomidae sp.*) 등이 우점하였으며 학장천의 H1, H2 지점에서의와 같은 비곤충류, 특히 실지렁이류의 폭발적인 증식 현상은 관찰되지 않았다.

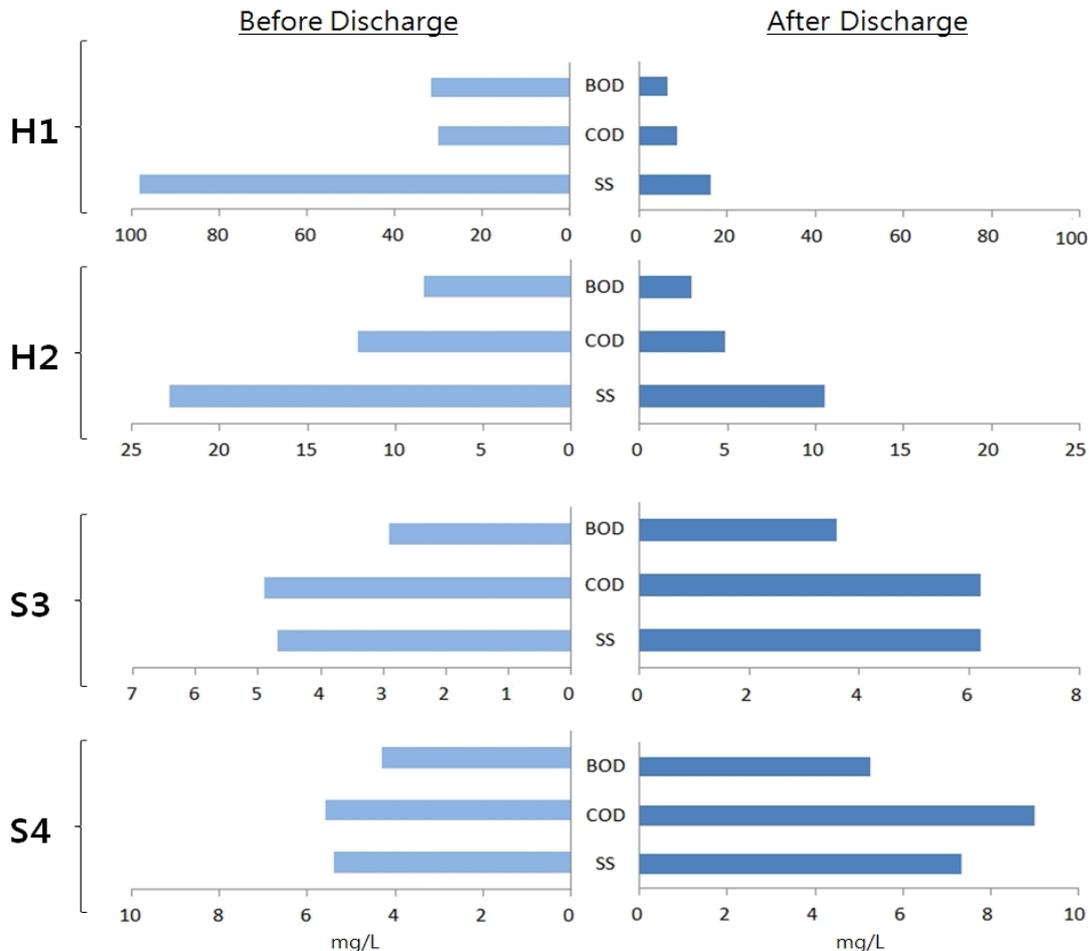


Fig. 2. Average BOD, COD & SS before and after maintenance water discharge.

Table 3. Benthic macroinvertebrates distribution at study sites

Species	Hakjang Stream			Seokdae Stream			
	H1	H2	H3	S1	S2	S3	S4
<i>Dugesia</i> sp.	0	0	155	8	2	0	0
<i>Radix auricularia</i>	0	5	1	5	7	16	5
<i>Physa acuta</i>	28	32	7	2	7	7	8
<i>Gyraulus chinensis</i>	0	0	0	0	1	1	1
<i>Limnoperna fortunei</i>	2	0	0	0	0	0	0
<i>Limnodrilus gotoi</i>	1102	1886	133	38	26	67	125
<i>Glossiphoniidae</i> sp.	0	6	0	0	0	1	1
<i>Arhynchobdellidae</i> sp.	2	52	1	7	5	49	13
<i>Asellus</i> sp.	0	6	4	0	4	29	0
<i>Baetiella tuberculata</i>	0	0	6	0	0	0	0
<i>Baetis fuscatus</i>	0	14	394	239	280	100	68
<i>Epeorus pellucidus</i>	0	0	0	2	0	2	1
<i>Ephemera strigata</i>	0	0	0	0	0	1	0
<i>Davidius lunatus</i>	0	0	0	0	1	0	0
<i>Tipula</i> sp.	0	0	7	0	2	3	3
<i>Antocha</i> Kua	0	0	0	1	1	0	3
<i>Psycoda</i> Kua	32	22	0	6	5	7	7
<i>Simuliidae</i> sp.	0	0	4	0	0	0	0
Chironomidae sp.1	43	156	259	65	430	516	375
Chironomidae sp.2	0	0	149	0	4	0	0
Chironomidae sp.3	0	0	0	0	5	16	23
Chironomidae sp.4 (red type)	68	32	2	0	4	8	25
Chironomidae sp.5	0	41	11	0	31	45	50
Ephydriidae sp.	4	0	0	0	1	0	0
Muscidae. sp.	6	4	0	0	0	4	0
<i>Hydropsyche orientalis</i>	0	0	1	9	3	18	15
<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	0	2	42	4	12	21	10

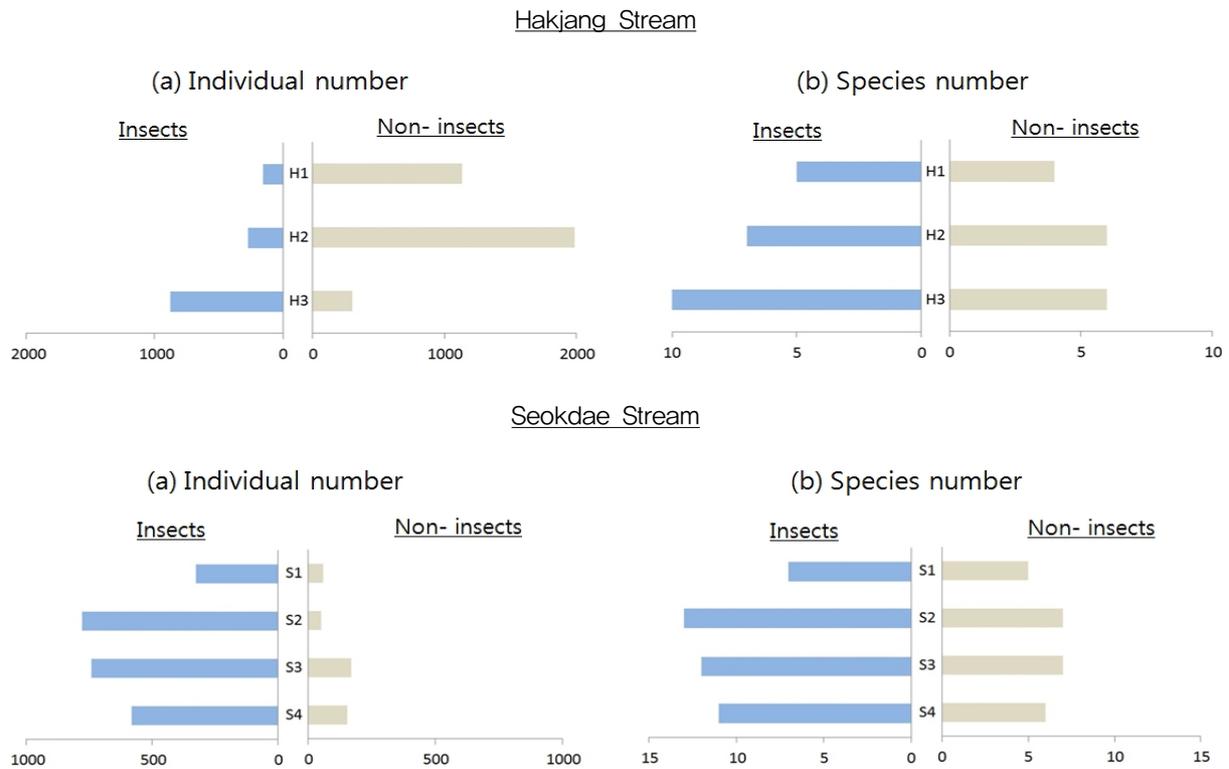


Fig. 3. Insect & Non-Insect taxa comparison of study sites.

**채취시기별 저서성 대형무척추동물 군집지수 변동**

각 채취시기별 저서성대형무척추동물 군집 변동을 종수, 개체수, 종다양성지수, 우점도지수, KSI 지수 등에 대하여 살펴보았다.(Fig. 4) 학장천은 유지용수 공급 후인 2011년 11월 1일 채취 시점 이후 종수가 완만히 증가하는 경향을 보이고 있었다. 그러나 개체수는 시간에 따라 일정하지 않게 변동하였는데 이는 간헐적인 유기물 퇴적에 의한 실지렁이류의 급격한 증감 현상이 반복되었기 때문으로 생각된다. 종다양성 지수와 우점도 지수도 변동 폭이 매우 컸으나 유지용수 공급전과 비교할 때, 전체적으로 종다양성 지수는 완만히 증가하고 우점도지수는 완만히 감소하는 경향을 띠어 점차 생태계가 안정화되는 경향을 나타내었다. KSI 지수는 H1, H2 지점에서는 3.65~4.56의 값을 나타내어 모두 D 등급의 나쁜 수질로 평가되어 이 지점에서의 출현생물종이 대부분 오염내성종을 나타내고 있어, CSOs 유입과 같은 주기적인 오염현상에 노출되고 있음을 나타내고 있다. 반면 H3 지점의 경우 0.67~2.25의 KSI 값을 나타내어 A~B 등급의 양호한 생물학적 수질등급을 나타내고 있었다.

석대천은 유지용수 공급이 재개된 이후인 2012년 5월 8일, 10월 12일 기간에 출현종수와 개체수 모두 완만한

증가 경향을 보이고 있다(Fig. 4). 그러나 유지용수 공급 재개 이후 종다양성지수는 소폭 하락하고 우점도지수는 소폭 증가하는 모습을 보이고 있어 증가된 출현종과 개체수가 오염내성종의 증가로부터 기인한다는 것을 나타내고 있다. KSI 지수는 전 지점에서 1.74~3.98의 큰 변동을 보여 채취시기에 따라 B~D 등급의 다양한 상태를 보이고 있어, 출현종의 종류가 채취시기에 따라 심하게 변동하고 있어, 석대천 일대의 생태상황이 시간에 따라 많은 변동이 있었음을 나타내고 있다.

**유지용수 공급전후의 생태지표 변동 비교**

학장천과 석대천의 유지용수가 공급되는 지점인 H1, H2, S3, S4 지점에서의 유지용수 공급전후의 생태지표 변동을 비교하기 위하여 Fig. 5에 공급전후의 생태지표 평균값들을 구하여 비교하였다. 학장천 H1지점에서는 유지용수 공급 이후에 종수, 종다양성 지수, 우점도 지수 측면에서 모두 양호해진 값을 나타내었다. 그리고 개체수는 증가하였는데 KSI 지수는 큰 변동이 없는 것으로 보아 증가된 종 및 개체수는 대부분 오염내성종이라는 것을 알 수 있다. H2지점에서는 유지용수 공급 이후에 종수, 종다양성 지수, 우점도 지수, KSI 측면에서 모두 양호해진 값

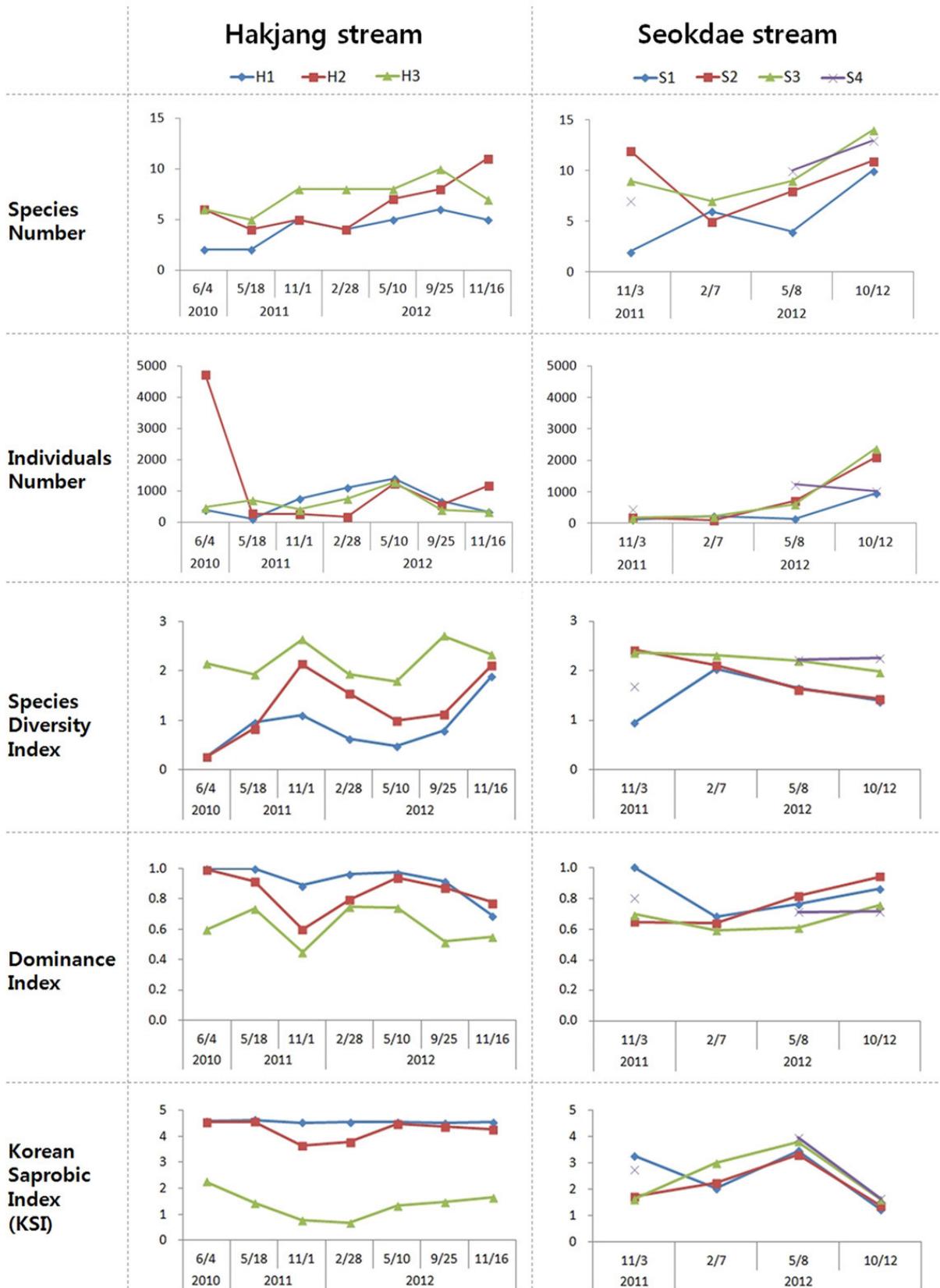


Fig. 4. Benthic macroinvertebrate community variations

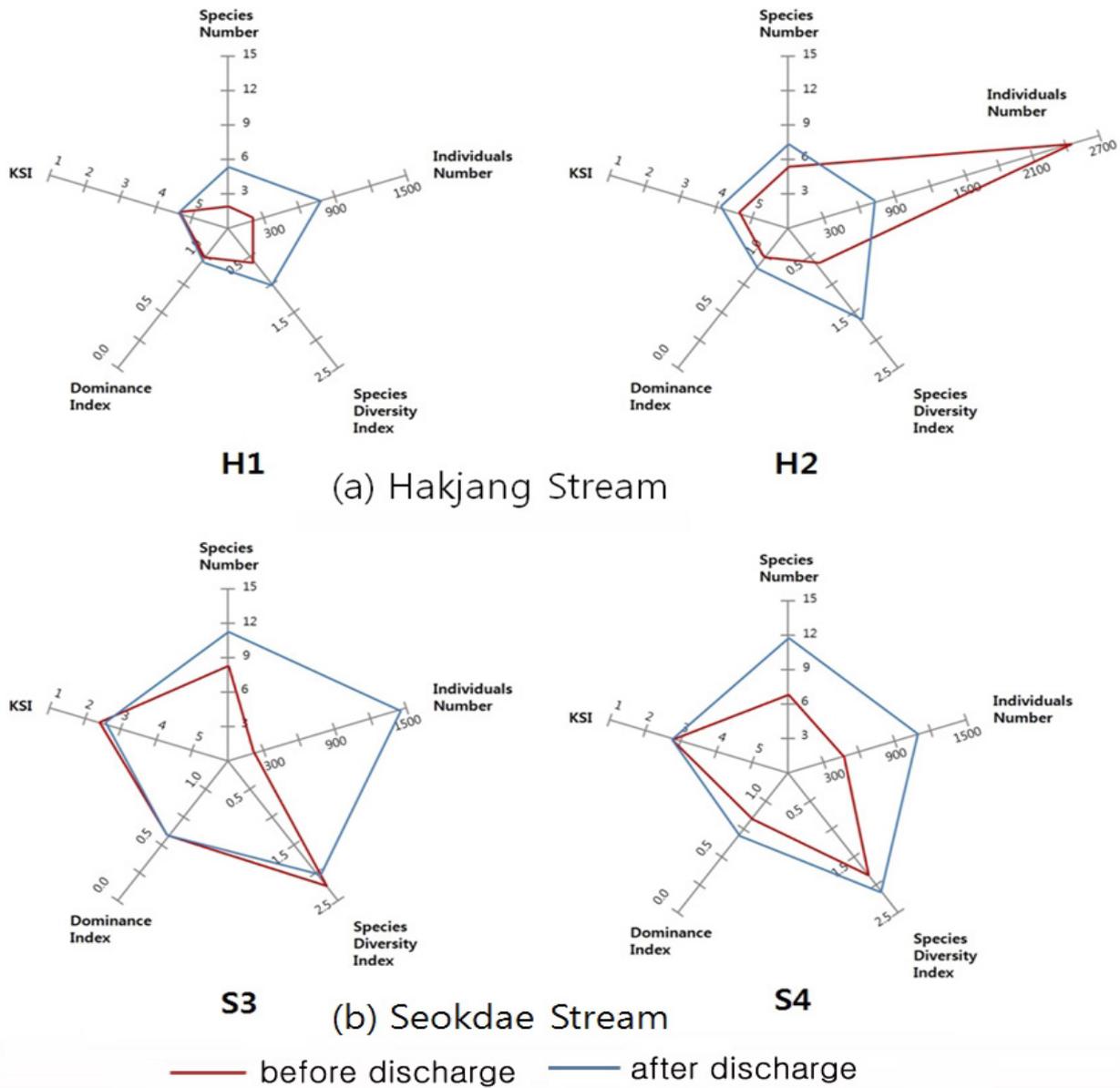


Fig. 5. Benthic macroinvertebrate community variations before and after discharge.

을 나타내었다. 한편 개체수는 대폭 감소하였는데 이는 실지렁이류와 같은 오염내성종의 폭발적 증식 현상이 크게 완화되었기 때문이다. KSI 값이 양호해진 것을 볼때 H2지점의 경우에는 점차 오염내성종의 출현이 줄고 양호한 수질에의 출현종이 점차 나타나기 시작하는 시점인 것으로 생각된다.

석대천의 S3 지점은 종수와 개체수는 증가하고 있으나 종다양성지수, 우점도 지수, KSI 값은 변화 없거나 다소 악화된 값을 나타내고 있다. 또한 석대천의 S4 지점은 종수, 개체수, 종다양성지수 모두 증가하고 있고, 우점도 지

수는 감소하고 있어, S3지점보다 좀 더 양호한 변동 상황을 나타내고 있다.

석대천 두지점은 모두 KSI값은 증가가 관찰되지 않아 오염민감종의 출현이 지연되고 있는 것으로 생각된다. 이것은 석대천 유지용수의 자체적인 수질과 영양염류 증가로 인한 부착조류량 증가 등 자생적인 유기물량이 하천 바닥 중심으로 축적되었기 때문으로 생각된다.

## 결 론

1. 학장천 조사 지점은 유지용수 공급 전 (2011년 6월 이전)에는 생물화학적산소요구량(BOD) 등 전반적으로 악화된 수질이 관찰되었으나 유지용수 공급 이후에는 상대적으로 양호한 수질을 나타내었다.
2. 석대천은 유지용수 공급으로 하류지점의 유량이 크게 확보되었으며, 조사시기에는 하천공사가 석대천의 하류에 집중되는 등의 영향으로 하상세굴, 탁수유입 등의 하천교란이 있어 다소의 수질변동이 있었다.
3. 조사기간 동안 학장천에서는 총 21종 4721개체의 저서성 대형무척추동물이 채집되었는데 학장천 본류 지점에서는 실지렁이류(*Limnodrilus gotoi*)가 크게 우점하였으며, 구덕천 지점에서는 개똥하루살이(*Baetis fuscatus*), 깔따구류 (*Chironomidae* sp.) 등 II~III 급수에서 주로 관찰되는 생물이 많이 채집되었으며, 플라나리아(*Dugesia* sp.)와 같은 청정한 수질 지표종도 다량 관찰되었다.
4. 석대천에서는 총 24종 2861개체의 저서성 대형무척추동물이 채집되었는데, 대부분 개똥하루살이(*Baetis fuscatus*), 깔따구류 (*Chironomidae* sp.) 등이 우점하였으며 학장천과 같은 비곤충류, 특히 실지렁이류의 폭발적인 증식 현상은 관찰되지 않았다.
5. 학장천은 유지용수 공급 후인 2011년 11월 1일 채취 시점 이후 중수가 완만히 증가하는 경향을 보이고 있었다. 그러나 개체수는 시간에 따라 일정하지 않게 변동하였는데 이는 간헐적인 유기물 퇴적에 의한 실지렁이류의 급격한 증감 현상이 반복되었기 때문으로 생각된다.
6. 석대천은 유지용수 공급이 재개된 이후인 2012년 5월 8일, 10월 12일 기간에 출현종수와 개체수 모두 완만한 증가 경향을 보이고 있다.

## 참고문헌

1. 권오길, 박갑만, 이준상, 한국패류도감(1993).
2. 오용남, 수영강과 낙동강의 지류인 세 하천에서의 수서곤충 군집에 대한 연구, 박사학위논문, 부산대학교 (1998).
3. 원두희, 한국의 수서곤충(2005).
4. 윤일병, 한국식물도감 제 30권 동물편(수서곤충류), 문교부(1988).
5. 윤일병, 수서곤충검색도설(1995).
6. 전태수, 권태성 수영강의 저서성대형무척추동물에 대한 생태학적 연구 2, 한국육수학회지 vol.24, No.3, pp. 179~198(1991).
7. 정평림, 한국의 담수패류(2003).
8. 환경부, 국립환경과학원, 물환경종합평가방법 개발 조사연구(Ⅲ)(2006).
9. 환경부, 국립환경과학원, 수생태건강성조사 및 평가 최종보고서(2008).
10. 환경부, 수질오염공정시험기준(2008).
11. 환경부, 수생태계 건강성 조사계획 수립 및 지침 (2007).
12. Hellawell J.M, Biological indicators of freshwater pollution and environmental management, Elsevier Applied Science Publishers, London, England(1986).
13. MaNaughton S.j, Relationship among functional properties of California Grassland. Nature 216 pp.168~169(1967).
14. Merritt, R.W. and K.W. Cummins, An introduction to the aquatic insects of North America. 3rd. ed. Kendall/Hunt Publ. Co.(1996).
15. Pielou, E. C. An introduction to mathematical ecology. Wiley-Interscience, New York(1969).
16. Shannon CE and W. Weaver. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana(1949).
17. USEPA, Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers pp.112(1999).
18. 川合禎次, 日本産水生昆虫(2005).