

수영강 중류 물환경 생태 조사연구

전대영[†]·차영욱·김미희·이소림·김주인·권기원·유평중
환경조사과

Assessments of Ecosystem Health in Middle Reaches of Suyoung River

Dae-Young Jeon[†], Young-Uk Cha, Mi-Hee Kim, So-Lim Lee, Chu-In Kim, Ki-Won Kwon and Pyung-Jong Yoo

Environmental Research Division

Abstract

Biological monitoring was conducted in 2009 for diagnosis and evaluation of ecosystem health in the middle reach of Suyoung river in Busan. These Biological monitorings included four parts(benthic macroinvertebrates, phyto · zooplankton, fishes and habitat & waterfront environment).

The results were as follows :

1) Total observed species of benthic macroinvertebrates were 35 at the study sites, The stream health condition based on the index of Korea Saprobic (KSI) indicated "good ~ fair".

2) Total observed species of phytoplankton were 96. among these species Bascillanophyceae, chlorophyceae were major dominant taxa and total observed taxa of zooplankton were 13 at the study sites. Among observed taxa of zooplankton, rotifera were major dominant taxa and Cladocera wasn't found.

3) The stream health condition based on the Index of Biological Integrity (IBI) values indicated "good ~ poor" and physical habitat condition based on Qualitative Habitat Evaluation Index (QHEI) indicated "good ~ fair".

Key words : ecosystem health, KSI, IBI, QHEI

서 론

우리나라에서는 그간의 수질관리정책이 유기물과 독성물질 등을 포함하는 화학적 오염, 하수와 공장폐수 등의 점오염원, 그리고 인간의 건강관리 위주로 시행되어 왔다. 종래의 이화학적 측정평가만으로는 다양한 생물이 생존할 수 있는 환경의 직접적 평가와 증명은 되지 않는다.

미국 및 EU와 같은 선진국들의 경우 수자원의 총체성을 반영하는 생태계 건강성 회복을 물관리의 최상의 목표로 설정하고 1990년대 초반부터 수질에 대한 생물학적 평가체제를 도입 활용하고 있다. 특히 미국에서는 지표생물을 이용한 수생태계 건강성 평가를 위해 이미 1981년에 다변수 모델(Index of Biological Integrity)을 개발하여 수생태계 보전과 관리에 체계적으로 활용하고 있으며, 그 결과들은 국가 생태네트워크를

구축하고 지역적 물환경을 종합적으로 평가하는데 크게 기여하고 있다. 한편 EU는 물관리지침(Water Framework Directive)을 수립하여 2015년을 목표로 하천생태계 평가를 통해 수생태계 건강성 회복을 위한 종합적인 물관리정책을 추진 중이다¹⁾.

최근 환경부는 기존의 이화학적 기준만을 이용한 하천수 생태계의 건강성 평가를 탈피하여 이화학적 평가 뿐 만 아니라 생물학적인 평가기준을 마련하여 수생태계의 총체적인 평가기준을 마련하였다. 서식하는 생물의 구조와 기능에 근거한 생물학적 평가는 이화학적 평가에 비하여 해당 물환경에 대하여 교란된 수체의 현재 상태를 파악하게 할 뿐만 아니라 보다 종합적이고 장기적인 영향을 파악할 수 있게 하며, 건강성의 회복을 위한 판단의 근거를 제공한다. 또한 동시에 건강한 수체에 대한 생물학적 평가를 근거로 해당 수체의 회복 혹은 복원을 위한 목표를 설정할 수 있다²⁾.

[†]Corresponding author. E-mail : jeon1st@korea.kr
Tel : +82-51-758-6123, Fax : +82-51-757-2879

수영강은 경남 양산군 철마면 송정리의 경계(해발 800 m)에서 발원하여 온천천 동래천, 석대천의 지류를 가지고 있으며 전체 배수면적은 200 km², 총 연장 28.2 km, 폭은 50~90 m 강이나, 주거 밀집지역, 상업지역, 공업지역이 혼재된 지역이다. 금정산 법어사 계곡에서 발원하여 금정구, 동래구, 연제구 등 3개구의 밀집주거지역을 관류하여 세병교지점을 기점으로 남동방향으로 흘러 들어가 수영강으로 유입한다. 수영강은 중류부 이후부터는 회동수원지로 인하여 그 생태의 축이 단절되고 해당지역이 도시화됨에 따라 오염이 가중된 대표적 하천이다³⁾.

이러한 수영강을 살리기 위해 하수의 적극적인 차집과 낙동강원수 및 동부하수처리장의 방류수를 하천유지용수로 확보하여 방류하는 등 적극적인 물환경 개선작업을 시도하고 있으나, 다양한 생물이 생존할 수 있는 환경을 지속적으로 보전해 가는 것이 중요하다. 이를 위해서는 환경의 생물학적 상황의 평가, 생물의 서식상황조사 및 이들의 상호관련 검토 등의 생물을 주체로한 연구를 행할 필요가 있다.

이에 본 연구는 수영강 중류구간에 대하여 동식물 플랑크톤, 저서성 대형무척추동물, 어류, 서식 및 수변환경 등 총 4개 분야에 걸친 수생태계 건강성 조사 및 평가를 실시하였다. 이를 통하여 수영강 중류의 물환경 현황을 종합적으로 분석하여 수생태계 건강성을 파악하고 물환경 보전정책을 위한 기초자료를 확보하고자 한다.

재료 및 방법

연구대상 및 기간

본 연구의 조사지점은 수영강 중류구간중 하천유지용수로 회동수원지 물이 공급되는 중류 2개 지점(동천교, 석대천 합류지점)과 회동수원지 상류 1개 지점(한물교)을 대상으로 하였으며 Fig.1에 시료채취지점을 나타내었다. 각 항목별 조사시기는 Table 1에 나타내었다.

수질 분석

수온, pH, DO는 현장 측정기(YSI-556MPS)를 이용하여 현장에서 측정하였으며, BOD, TN, TP 등은 시료 2 L를 채수하여 아이스박스에 담아 실험실로 운반하여 수질오염공정시험

기준에 따라 분석하였다. 수문 환경에 해당하는 유량은 거리별 수심 및 유속을 측정하여 환경부 수질오염공정시험기준에 따라 유량을 산정하였으며, 유속은 회전식 유속계(Valeport BFM001)을 이용하였고 거리별 수심은 목자판을 이용하였다.

저서성 대형무척추동물

채집 및 동정

저서성대형무척추동물 채집은 계류용 정량채집망인 Subernet(30×30 cm, 망목0.5 mm)(Hauer et al., 1995)을 이용하여 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(1998)⁴⁾, 윤(1995)⁵⁾, 원(2005)⁶⁾, 川合禎次(2005)⁷⁾, Merritt and Cummins(1996)⁸⁾를 참조하여 실시하였다. 종 수준까지 분류가 어려운 종은 외부형태가 확연히 구별되는 종을 대상으로 임의로 과나 속 수준에서 sp 1. 등의 형태로 정리하였다.

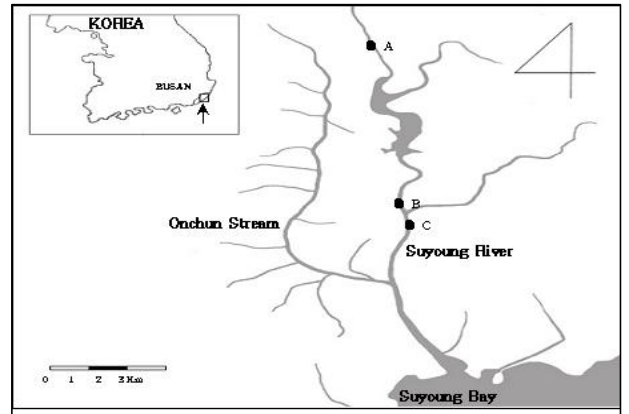


Fig. 1. Map of the Suyoung River showing sampling sites A : Hanmul-gyo B : Dongchun-gyo, C : Sukdae Jct.

Table 1. Survey period by items

	water & macroinvertebrates	zoo & phyto plankton	fishes	waterfront environment
1st survey	2008. 9	2009. 3	2009. 8	2009. 9
2nd survey	2009. 3	2009. 5	2009. 10	2009. 11
3rd survey	2009. 5	2009. 9	-	-
4th survey	2009. 9	-	-	-

군집구조분석

저서성대형무척추동물의 군집구조를 파악하기 위해 채취시기 및 지점별로 개체수 현존량와 종수, 종다양성지수, 우점도지수, 한국오수생물지수를 산출하여 비교하였다.

종다양성지수는 Shannon - wiener function(H')(Pielou, 1963)⁹⁾에 따라 산출하였으며, 산출식은 아래와 같다.

$$H' = -\sum(n_i/N) \cdot \log_2(n_i/N) \quad (n_i : i \text{ 종의 개체수}, N : \text{총개체수})$$

우점도지수는 McNaughton's dominant index(DI)(McNaughton, 1967)¹⁰⁾를 이용하여 산출하였으며 산출식은 아래와 같다.

$$DI = (n_1 + n_2)/N \quad (n_1 : \text{우점종}, n_2 : \text{아우점종}, N : \text{총개체수})$$

한국오수생물지수(KSI, Korean Saprobic Index) 산정

저서성 대형무척추동물을 이용한 각 조사구간의 수생태계 평가는 “물환경종합평가방법 개발 조사연구”¹⁾에서 제안된 한국오수생물지수(KSI, Korean Saprobic Index)를 이용하였으며, 이 값은 각 지표생물군의 오락계급치(S) 및 지표가중치(G)를 적용하여 산출하였으며, 산출식은 아래와 같다.

$$KSI = \sum S_i \cdot A_i \cdot G_i / \sum A_i \cdot G_i$$

(S_i : i 군의 오락계급치, A_i : i 군의 출현개체수,

G_i : i 군의 지표가중치)

동식물플랑크톤

동식물플랑크톤의 조사는 수질오염공정시험법에 따라 채집하였으며, 정성분석은 증고배율($\times 400, \times 1000$)에서 분라-동정하였다. 그리고 식물플랑크톤 중의 동정은 한국담수조류도감¹¹⁾, 일본담수조류도감¹²⁾ 및 수질오염공정시험기준 부록 I. 담수조류 분류표¹³⁾에 따라 동정하였다.

동물플랑크톤 중의 동정은 한국담수동물플랑크톤도감¹⁴⁾의 분류체계를 따랐다.

어류

채집 및 종분류

어류 현장조사는 환경부의 물환경 종합 평가개발 조사연구¹⁾ 및 수생태계 건강성 조사계획 수립 및 지침¹⁵⁾의 어류조사 방법에 의거하였다. 어류 채집의 정량화를 위하여 채집거리는 100m, 조사소요시간은 50분으로 한정하였고, 가능한 한 여울(Riffle), 소(Pool), 흐르는 곳(Run)을 포함하는 곳에서 조사빈도를 균등하게 하여 가슴장화의 착용으로 접근이 가능한 장소에서 조사를 실시하였다. 하천차수는 1 : 120,000 축적의 지도를 이용하여 Strahler 방법에 따라 결정하였다.

조사도구는 투망(5×5 mm)과 족대(4×4 mm)를 이용하였고 3인 1조로 구성 조사하였다. 종분류는 채집시 현장에서 즉시 수행하였으며, 현장 분류가 어려운 경우 10% 포르말린 용액에 고정하여 실험실로 운반후 관련도감에 의거하여 분류하였다.

채집된 어류는 김 과 박¹⁶⁾, 최¹⁷⁾, 김 등¹⁸⁾, 환경부국립환경과학원¹⁹⁾에 의거하여 동정하였다.

어류를 이용한 생태계 건강성 평가 모델

생태 건강성 평가모델은 환경부의 물환경 종합 평가개발 조사연구¹⁾ 및 수생태계 건강성 조사계획 수립 및 지침¹⁵⁾의 어류 평가 8-메트릭 모델에 의거하였다.

서식 및 수변환경

서식 및 수변환경 평가는 환경부의 물환경 종합 평가개발 조사연구¹⁾의 평가방법을 이용하였다. 서식 및 수변환경 평가 항목은 3인이 1조로 구성되어 조사하였다.

결과 및 고찰

이화학적 수질

수영강 중류 3개 지점에 대한 이화학적 수질 분석결과는 Table 2에 나타내었는데 BOD에 의한 수질 등급은 2차 조사결과를 제외하고는 좋음 이상의 등급을 나타내었다.

동천교, 석대천 합류지점은 회동수원지 물의 하천유지용수 공급으로 수질은 개선추세를 나타내고 있다.

저서성 대형무척추동물

출현종수와 개체수의 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 추세이다²⁰⁾.

Table 3에 나타난 바와 같이 2008년 9월부터 2009년 9월까지 총 4차에 걸친 조사 결과 수영강 중류 3개 조사지점에서 서식하는 저서성대형무척추동물의 전체 분류군은 3문 5강 11목 20과 35종으로 나타났다. 수영강 중류 3개 조사지점에서 확인된 총 35종의 저서성 대형무척추동물의 출현종 중에서 비곤충류는 연체동물문 1종, 환형동물문 3종, 갑각강 1종으로 총 5종이 출현하였으며, 수서곤충류는 하루살이목 9종, 잠자리목 3종, 딱정벌레목 1종, 파리목 9종, 날도래목 7종, 톱톡이목 1종으로 총 30종이 출현하여 전체 출현종의 85.7%를 차지하는 것으로 나타났다.

Table 2. Results of water quality in middle reaches of Suyoung River

period	site	pH	DO (mg/L)	Conductivity (μ mho/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)	Total Coliform	NH ₃ -N (mg/L)
1st survey	Hanmul-gyo	-	-	-	1.5	-	-	2.684	0.039	-	-	0.019
	Dongchun-gyo	-	-	-	2.4	-	-	1.460	0.030	-	-	0.496
	Sukdae Jct	-	-	-	2.4	-	-	4.035	0.139	-	-	0.488
2nd survey	Hanmul-gyo	7.6	12.7	234	3.4	4.4	4.6	0.831	0.096	32.9	92000	0.220
	Dongchun-gyo	7.8	10	1816	4.0	8.8	7.7	7.474	0.511	13.6	160000	0.396
	Sukdae Jct	7.5	10.1	384	4.1	6.0	15.2	0.180	0.035	15.6	35000	0.198
3rd survey	Hanmul-gyo	8.1	11.5	246	0.6	3.4	6.5	5.221	0.029	1.3	2200	0.103
	Dongchun-gyo	7.7	9.2	1610	2.2	6.6	13.1	6.935	0.147	8.3	24000	0.460
	Sukdae Jct	7.7	10.5	460	2.2	8.8	19.5	3.245	0.090	25.6	3300	0.764
4rd survey	Hanmul-gyo	8.6	7.6	243	0.7	5.0	3.1	2.745	0.101	-	1700	0.070
	Dongchun-gyo	7.5	7.4	2507	1.6	7.4	6.4	4.438	0.192	15.2	16000	0.402
	Sukdae Jct	7.3	6.3	167	1.9	5.4	11.8	1.526	0.101	11.5	790	0.379

Table 3. Total number of selected taxa in benthic macroinvertebrate

	phylum	class	order	family	species
1st survey	2	4	6	9	17
2nd survey	3	5	9	18	27
3rd survey	3	5	8	9	13
4th survey	3	5	9	15	21
total	3	5	11	20	35

Table 4에 나타난 3개 조사지점의 전체 개체수 현존량의 구성비를 살펴보면 2차 조사(2009.3.)에서 파리목의 개체수가 큰 폭으로 증가했으며, 지점별로 살펴보면 한물교의 경우 2차 조사(2009.3.)에서 파리목 개체수가, 4차 조사(2009.9.)에서는 하루살이목의 개체수가 큰 폭으로 증가하였다. 또한 오염이 심하였던 동천교, 석대천 합류지점은 오염수계의 지표생물로 알려져 있는 파리목의 깔다구류와 환형동물문의 실지렁이의 점유율이 전 조사시기에 걸쳐 매우 높게 나타났다.

우점종 및 점유율의 변화

Table 5는 각 지점별 우점, 아우점종 및 우점률을 나타내었는데, 한물교는 1차, 4차 조사에서 등딱지하루살이가 우점을 보였으며, 2차 조사에서는 깔다구가 다량 증가로 인해 우점을, 3차 조사에서는 오염수역에 서식하는 실지렁이류가 우점하는 것으로 나타났다. 동천교, 석대천 합류지점은 실지렁이류와 깔다

구가 전 조사시기에 걸쳐 우점을 보였으며, 우점률이 매우 높아 조사지점의 단순한 군집구조를 반영했다.

군집지수의 변화

수영강 중류 3개 조사지점에서의 우점도지수(DI) 및 다양도지수(H') 변화는 Fig. 2, 3에 나타났다. 우점도지수(DI)는 가장 근본적이고 고전적인 지수로서 군집 내에서 가장 높은 출현도를 보이는 두 종의 개체수에 대한 총 개체수의 상대적 구성비율을 의미하는데, 지수값이 높을수록 특정종이 차지하는 비율이 높음을 나타내는 지수이다. 수영강 중류 3개 조사지점에서의 우점도지수를 살펴 보면, 한물교의 평균 우점도지수는 0.75 ± 0.15 , 동천교 0.81 ± 0.11 , 석대천합류 0.86 ± 0.04 로 동천교, 석대천 합류지점에 비해 상대적 오염도가 덜한 한물교의 우점도지수값이 낮게 산출되었으며, 하상부패 등으로 오염도가 높은 동천교, 석대천 합류지점의 우점도 지수값은 높았다. 한물교의

경우 2차 조사에서 우점도지 수값 큰 폭으로 증가하여 하천환경이 불안정한 상태를 보이는 것으로 나타났다.

다양도지수(H')는 출현한 각 종의 개체수와 전체 출현개체수의 상대적인 출현도를 나타내는 것으로 지수값이 높을수록 다양한 종이 안정적으로 서식하고 있음을 의미한다. 조사지점별

평균 다양도지수값을 살펴보면 한물교이 1.87 ± 0.86 으로 가장 높았으며, 다음으로 석대천 합류 1.62 ± 0.15 , 동천교 1.52 ± 0.58 순으로 나타났다.

Table 4. Individuals of the selected taxa in middle reaches of Suyoung River (unit : Individuals/m²)

	1st survey	2nd survey	3rd survey	4th survey
total number of individuals (the number of species)	12444.4 (17)	34944.4 (27)	13455.6 (12)	14774.1 (21)
Platyhelminthes	-	-	-	-
Annelida	6188.9 (2)	7311.1 (2)	7088.9 (3)	1748.1 (2)
Mollusca	-	7.4 (1)	270.4 (1)	14.8 (1)
Crustacea	14.8 (1)	44.4 (1)	148.1 (1)	366.7 (1)
Insecta				
Ephemeroptera	1085.2 (6)	344.4 (6)	674.1 (3)	7274.1 (6)
Odonata		3.7 (1)		7.4 (2)
Plecoptera	-	-	-	-
Megaloptera	-	-	-	-
Coleoptera				3.7 (1)
Diptera	5129.6 (5)	26963.0 (9)	5263.0 (4)	5344.4 (6)
Trichoptera	25.9 (3)	251.9 (6)	11.1 (1)	14.8 (2)
Collembola	-	18.5 (1)	-	-
sum	6240.7	27581.5	5948.1	12644.4

1st survey				2nd survey			
	Hanmul-gyo	Dongchun-gyo	Sukdae Jct		Hanmul-gyo	Dongchun-gyo	Sukdae Jct
total	1744.4	2963.0	7737.0	total	24281.5	5844.4	4818.5
Platyhelminthes	-	-	-	Platyhelminthes	-	-	-
Annelida	11.1	1651.9	4525.9	Annelida	3.7	5048.1	2259.3
Mollusca	-	-	-	Mollusca	3.7	-	3.7
Crustacea	11.1	-	3.7	Crustacea	29.6	-	14.8
Insecta				Insecta			
Ephemeroptera	896.3	140.7	48.1	Ephemeroptera	344.4	-	-
Odonata	-	-	-	Odonata	-	-	3.7
Plecoptera	-	-	-	Plecoptera	-	-	-
Megaloptera	-	-	-	Megaloptera	-	-	-
Coleoptera	-	-	-	Coleoptera	-	-	-
Diptera	825.9	1155.6	3148.1	Diptera	23781.5	796.3	2385.2
Trichoptera	-	14.8	11.1	Trichoptera	118.5	-	133.3
Collembola	-	-	-	Collembola	-	-	18.5
sum	1722.2	1311.1	3207.4	sum	24244.4	796.3	2540.7
3rd survey				4th survey			
	Hanmul-gyo	Dongchun-gyo	Sukdae Jct		Hanmul-gyo	Dongchun-gyo	Sukdae Jct
total	3474.1	2455.6	7525.9	total	10081.5	3922.2	770.4
Platyhelminthes	-	-	-	Platyhelminthes	-	-	-
Annelida	1555.6	1529.6	4003.7	Annelida	40.7	1407.4	300.0
Mollusca	270.4	-	-	Mollusca	-	3.7	11.1
Crustacea	140.7	3.7	3.7	Crustacea	366.7	-	-
Insecta				Insecta			
Ephemeroptera	666.7	-	7.4	Ephemeroptera	7248.1	25.9	-
Odonata	-	-	-	Odonata	7.4	-	-
Plecoptera	-	-	-	Plecoptera	-	-	-
Megaloptera	-	-	-	Megaloptera	-	-	-
Coleoptera	-	-	-	Coleoptera	3.7	-	-
Diptera	829.6	922.2	3511.1	Diptera	2411.1	2474.1	459.3
Trichoptera	11.1	-	-	Trichoptera	3.7	11.1	-
Collembola	-	-	-	Collembola	-	-	-
sum	1507.4	922.2	3518.5	sum	9674.1	2511.1	459.3

Table 5. Dominant species and rate at sampling site

	survey period	dominance index	dominant specie & its proportion			
			1st dominant species		2nd dominant species	
Hanmul-gyo	1st	0.75	<i>Caenis Caenis</i> Kua	37.4%	Chironomidae sp.2	37.4%
	2nd	0.95	Chironomidae sp.2	92.8%	Chironomidae sp.3	2.0%
	3rd	0.60	<i>Limnodrilus socialis</i>	43.4%	Chironomidae sp.6	16.8%
	4th	0.70	<i>Caenis Caenis</i> Kua	51.1%	<i>Ephemera orientalis</i> McLachlan	19.0%
Dongchun-gyo	1st	0.75	<i>Limnodrilus socialis</i>	55.6%	Chironomidae sp.1	18.9%
	2nd	0.93	<i>Limnodrilus socialis</i>	23.3%	Chironomidae sp.6	6.8%
	3rd	0.87	<i>Limnodrilus socialis</i>	62.3%	Chironomidae sp.2	24.4%
	4th	0.69	Chironomidae sp.2	42.7%	<i>Limnodrilus socialis</i>	26.7%
Sukdae Jct	1st	0.85	<i>Limnodrilus socialis</i>	57.8%	Chironomidae sp.2	27.7%
	2nd	0.86	<i>Limnodrilus socialis</i>	44.1%	Chironomidae sp.2	41.7%
	3rd	0.91	<i>Limnodrilus socialis</i>	51.3%	Chironomidae sp.2	39.4%
	4th	0.82	Chironomidae sp.2	47.1%	<i>Limnodrilus socialis</i>	34.6%

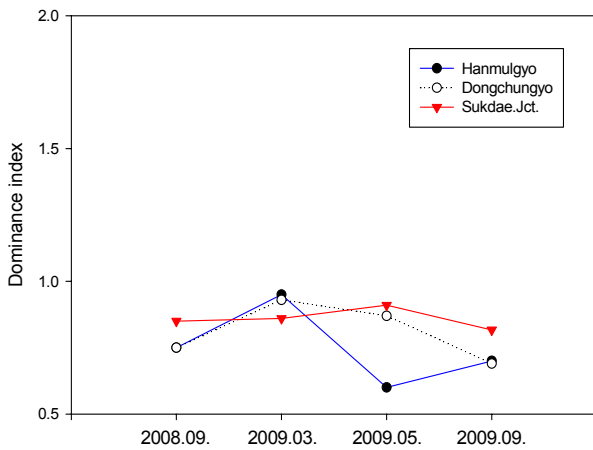


Fig. 2. Dominance Index at each sites during the study period.

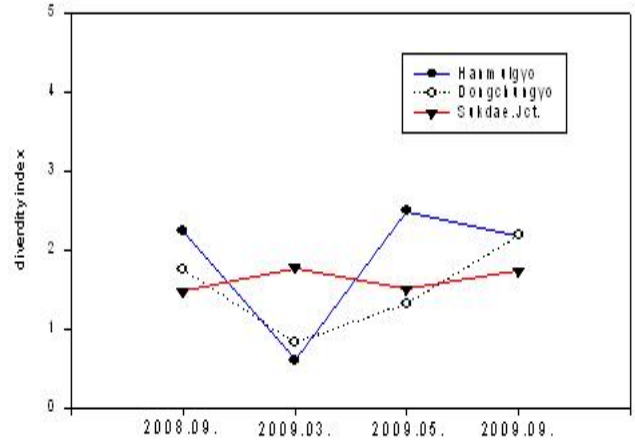


Fig. 3. Diversity Index at each sites during the study period.

한국오수생물지수에 의한 수생태계 건강성 평가

한국오수생물지수(KSI)에 의한 수영강 종류의 수생태계 건강성 평가 결과를 Table 6과 Fig. 4에 나타내었다. 조사지점 중 가장 상류에 위치하는 한물교는 3차 조사에서는 불량으로 나타나고 다양도 지수의 변화 폭도 크게 나타나는 등 불안한 물환경 상태를 나타내었으나 전반적으로 양호한 것으로 조사되었으며, 동천교, 석대천 합류지점은 생물등급 D의 불량상태로 평가됐다.

BOD기준 각 지점별 수질등급은 한물교는 1b로 좋음, B, C 지점은 II등급 약간 좋음으로 평가되어 생물등급과는 다소 차이가 있는 것으로 조사되었다.

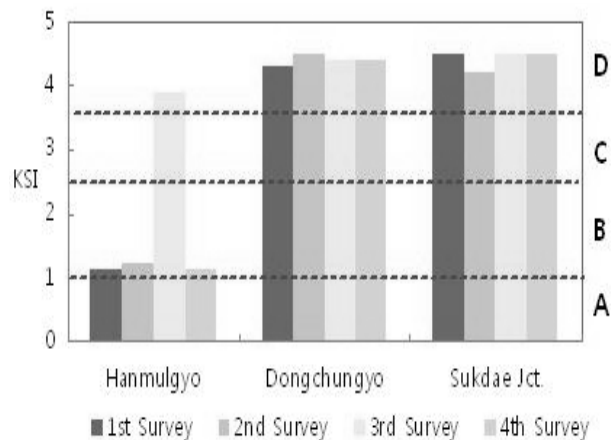


Fig. 4. Health assessment by site using KSI.

동식물플랑크톤

식물플랑크톤의 지점별 변화

Table 6과 Fig. 5에 나타난 바와 같이 1~3차 조사기간 동안 수영강 중류의 식물플랑크톤의 현존량은 250-12,000 cells/mL의 범위로 동천교 지점이 월등히 높았으며 한물교 지점이 다소 낮았고, 식물플랑크톤의 월별 변동양상은 2차 조사 한물교 지점에서 250 cells/mL로 최소치를 나타내었고, 2차 조사 동천교 지점에서 12,000 cells/mL로 최대치를 나타내었다. 조사기간 동안 식물플랑크톤의 정량채집을 통해 동정된 식물플랑크톤은 총 51속 96종이 동정되었다. 이 중 규조류가 24속 48종(50.0%)으로 가장 많이 출현하였으며, 이 외에 녹조류가 18속 32종(33.3%), 와편모조류 1속 1종, 유글레나류 3속 10종, 황색편모조류 2속 2종, 남세균류 1속 1종, 은편모조류가 2속 2종씩 출현하였다. 조사지점별로는 한물교 지점 60종, 동천교 지점

54종, 석대천 합류지점이 74종으로 석대천 합류지점 종수가 가장 많이 출현하였으며, 개체수는 한물교, 석대천 합류, 동천교 지점으로 갈수록 증가하는 것으로 나타났다.

조사기간 동안 지속적으로 출현하였던 주요 종은 *Asterionella* sp., *Aulacoseira* sp., *Melosira varians*, *Synedra* sp., *Nitzschia* sp., *Fragilaria* sp., *Cymbella* sp., *Navicula* sp. 등으로 모두 규조류에 속하는 종들이었다. 이 중 *Asterionella* sp.는 전 지점에서 많이 출현하였으며, *Melosira* sp.는 비교적 한물교 지점에 많이 출현하였고, *Synedra* sp.와 *Fragilaria* sp.는 동천교·석대천 합류지점에 많이 출현하였다. 규조류 이외의 타 분류군에 속하는 식물플랑크톤은 녹조류 *Chlamydomonas* sp.와 은편모조류 *Cryptomonas* sp.가 많이 출현하였고, 특히 *Chlamydomonas* sp.는 2차 조사에서 많이 출현한 것으로 나타났다.

Table 6. Health assessment by site using KSI

site	period	BOD	water condition	KSI	biological condition
Hanmul-gyo	1st	1.5	lb	1.1	B
	2nd	3.4	III	1.2	B
	3rd	0.6	la	3.9	D
	4th	0.7	la	1.1	B
	avg	1.6	lb	1.8	B
Dongchun-gyo	1st	2.4	II	4.3	D
	2nd	4.1	III	4.5	D
	3rd	2.2	II	4.5	D
	4th	1.9	lb	4.4	D
	avg	2.7	II	4.4	D
Sukdae Jct	1st	2.4	II	4.5	D
	2nd	4.0	III	4.2	D
	3rd	2.2	la	4.5	D
	4th	1.6	la	4.5	D
	avg	2.6	II	4.4	D

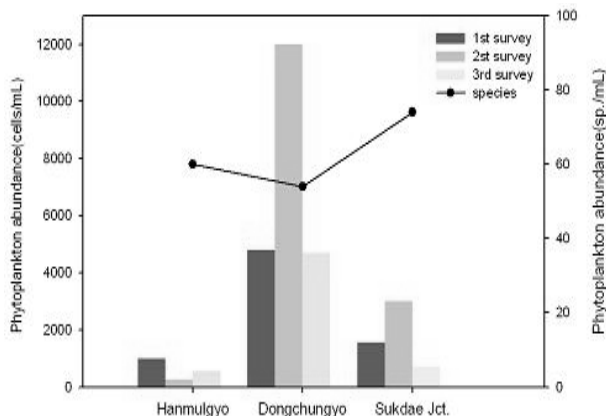


Fig. 5. Total number of phytoplankton species and individuals.

Table 7. Total number of phytoplankton species

species	Hanmul-gyo	Dongchun-gyo	Sukdae Jct
Bacillariophyceae			
<i>Achnanthes atomus</i>		+	
<i>Achnanthes lanceolata</i> Grunow	+		+
<i>Achnanthes lanceolata</i> ssp. <i>frequentissima</i>			+
<i>Achnanthes minutissima</i>	+	+	+
<i>Achnanthes subhudsonis</i>	+		+
<i>Asterionella formosa</i>	+++	++++	+++
<i>Aulacoseira ambigua</i>		+++	+
<i>Aulacoseira granulata</i>	+	+++	+
<i>Aulacoseira</i> sp.	+	++	++
<i>Cocconeis plancentula</i> Ehrenberg	+	+	+
<i>Cocconeis plancentula</i> var. <i>euglypta</i>	+		+
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	++	+	+++
<i>Cyclotella stelligera</i>		+	
<i>Cymbella minuta</i>	+		+
<i>Cymbella tumida</i>	+		
<i>Cymbella</i> sp.	+	+	+
<i>Diatoma vulgare</i>	+		
<i>Fragilaria</i> sp.	+	++++	++
<i>Gomphonema clevei</i>	+		+
<i>Gomphonema parvum</i>	+		++
<i>Gomphonema pseudoaugar</i>	+	+	+
<i>Gomphonema</i> sp.	+	+	
<i>Hannaea</i> sp.			+
<i>Meridion circulare</i> var. <i>constrictum</i>	+		+
<i>Melosira ruttneri</i>	+	+	++
<i>Melosira varians</i>	++	+	+
<i>Navicula pupula</i>	+	+	+
<i>Navicula</i> sp.	+	++	+
<i>Neidium</i> sp.			+
<i>Nitzschia amphibia</i>	++	+	+
<i>Nitzschia dissipata</i>	+	+	+
<i>Nitzschia inconspicua</i>	+	+	+
<i>Nitzschia fonticola</i>		+	+
<i>Nitzschia lineata</i>			+
<i>Nitzschia palea</i>	+	+	+
<i>Pinnularia</i> sp.		+	+
<i>Pomidium</i> sp.	+		+
<i>Reimeria sinuata</i>	+		+
<i>Stauroneis</i> sp.			+
<i>Stephanodiscus hantzchii</i> Grunow	+	+	+
<i>Surirella angusta</i>	+		+
<i>Surirella minuta</i>	+		
<i>Synedra acus</i>	+	++++	+++
<i>Synedra rumpens</i>	+	+	+
<i>Synedra ulna</i>	++	++	++
<i>Synedra</i> sp.	+	+	+
<i>Tabellaria ventricosa</i>		+	
<i>Thalassiosira bramaputrae</i>			+
Chlorophyceae			
<i>Ankistrodesmus bibraianus</i> Korshikov			+
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>		+	+

<i>Ankistrodesmus westii</i> G. M. Smith		+	+
<i>Chlamydomonas</i> sp.	+++	++++	++++
<i>Chlorella</i> sp.		+	+
<i>Closterium comu</i> var. <i>upsaliense</i> Nordstedt	+	+	
<i>Closterium</i> sp.	+	+	+
<i>Coelastrum microporum</i> Nägeli			+
<i>Coelastrum rectangulare</i>	+		
<i>Cosmarium turpinii</i>	+		
<i>Dictiosphaerium ehrenbergianum</i> Nägeli	+		
<i>Euastrum ansatum</i>	+		
<i>Euastrum glaberrimum</i> Hirano			+
<i>Eudorina</i> sp.	+	+	
<i>Golenkina paucispina</i> W. et G.S. West		+	
<i>Monoraphidium contortum</i>			+
<i>Pandorina</i> sp.			+
<i>Pediastrum biradiatum</i>	+		+
<i>Pediastrum boryanum</i>			+
<i>Pediastrum duplex</i>			+
<i>Pediastrum simplex</i>			+
<i>Schroederia setigera</i> Lemmermann	+	+	
<i>Senedesmus acuminatus</i>	+	+	+
<i>Senedesmus bernardii</i>	+		+
<i>Senedesmus ellipticus</i>	+	+	+
<i>Senedesmus intermedius</i>		+	
<i>Senedesmus quadricauda</i>	+	+	+
<i>Senedesmus spinosus</i>	+	+	+
<i>Spirogyra</i> sp.		+	+
<i>Staurastrum cingulum</i>		+	+
<i>Staurastrum construens</i>			+
<i>Hyalotheca</i> sp.			+
Dinophyceae			
<i>Ceratium hirundinella</i>			
Euglenophyceae			
<i>Euglena viridis</i>	+	+	+
<i>Phacus</i> sp.		+	+
<i>Trachelomonas abrupta</i>		+	
<i>Trachelomonas amata</i>			+
<i>Trachelomonas cervicula</i>	+		+
<i>Trachelomonas hispida</i>	+	+	+
<i>Trachelomonas intermedia</i>		+	
<i>Trachelomonas labiata</i>			+
<i>Trachelomonas robusta</i>	+	+	+
<i>Trachelomonas superba</i>			+
Chrysophyceae			
<i>Merismopedium glauca</i>	+		
<i>Synura</i> sp.	+		
Cyanophyceae			
<i>Oscillatoria</i> sp.	++	+	+
Cryptophyceae			
<i>Cryptomonas</i> sp.	++	++	+++
<i>Rhodomonas</i> sp.	+	+	++

+: <30cells/mL, ++: <1×10²cells/mL, +++: <5×10²cells/mL, ++++: <1×10³cells/mL

우점종 및 우점율의 변화

Table 8에 나타난 바와 같이 우점도 지수는 1차 조사에서 0.54~0.78, 2차 조사 0.40~0.67, 3차 조사 0.36~0.60의 범위로서 3차 조사 한물교 지점에서 최저이었고, 1차 조사 석대천 합류지점에서 최고값을 나타내었다. *Chlamydomonas* sp.가 우점인 지점은 우점율이 41.7~66.7%로 매우 높은 점유율을 나타내었고, 조사시기마다 석대천 합류지점이 상대적으로 낮은 우점율을 나타내었다. 우점종과 아우점종으로 조사된 분류군들은 모두 낙동강수계에 시기별 지역별 출현빈도가 높은 우점분류군으로 광적응성종 또는 호오탁성종들이었으며, 호청수종은 출현하지 않았다. 수영강 종류의 식물플랑크톤의 천이는 빠른 유속에 씻겨 나가지 않기 위해 자갈 등에 단단히 부착하여 서식하는 규조류의 증감에 의해 좌우된다는 점에서 강 천이의 특성을 가짐을 알 수 있었다.

동물플랑크톤의 지점별 변화

1~3차 조사기간 동안 수영강 종류의 동물플랑크톤의 현존량

은 11~600 ind./L의 범위로, 이 중 윤충류 (95.6 %, n=3), 요각류 (4.4 %, n=3)로 윤충류가 절대적으로 우점한 것으로 나타났다. 지각류는 전 지점에서 출현하지 않았다. Fig. 6과 Table 9에 나타난 바와 같이 전 지점 모두 2차 조사에서 개체수가 높았고 3차 조사에 개체수가 줄어들었으며, 상류는 1차, 3차 조사에서 동물플랑크톤의 개체수가 극히 낮은 것으로 나타났다. 전 개체수의 95.6 %를 차지하는 윤충류의 분류군은 *Lecane*, *Brachionus*, *Filinia*, *Polyarthra*, *Monostyla*, *Syncheata*, *Lepadella* 순으로 출현하였고, 조사지점별 출현분류군수는 총 13분류군으로 한물교 지점 8 분류군, 동천교 지점 5분류군, 석대천 합류지점 7분류군으로 1차 조사에는 *Filinia* sp., *Polyarthra* sp., 2차 조사에는 *Brachionus* sp., *Lecane* sp., 3차 조사에는 *Monostyla* sp., *Lepadella* sp.가 우점하였으며, 1차 조사에 비해 2차 조사에서 개체수 및 분류군수가 증가하였다가 3차 조사에서 개체수 및 분류군수가 감소하는 것으로 나타났다.

Table 8. Dominant species and dominant rate at sampling site

site	period	dominant specie & its proportion			
		1st dominant species	%	2nd dominant species	%
Hanmul-gyo	1st	<i>Chlamydomonas</i> sp.	45.0	<i>Synedra</i> sp.	9.0
	2nd	<i>Melosira varians</i>	36.5	<i>Asterionella formosa</i>	25.0
	3rd	<i>Melosira varians</i>	18.2	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	16.4
Dongchun-gyo	1st	<i>Synedra</i> sp.	36.5	<i>Asterionella formosa</i>	25.0
	2nd	<i>Chlamydomonas</i> sp.	41.7	<i>Asterionella formosa</i>	16.7
	3rd	<i>Fragilaria</i> sp.	34.0	<i>Aulacoseira granulata</i>	25.5
Sukdae Jct	1st	<i>Synedra</i> sp.	39.1	<i>Asterionella formosa</i>	25.6
	2nd	<i>Chlamydomonas</i> sp.	66.7	<i>Asterionella formosa</i>	6.7
	3rd	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	21.4	<i>Cryptomonas</i> sp.	18.6

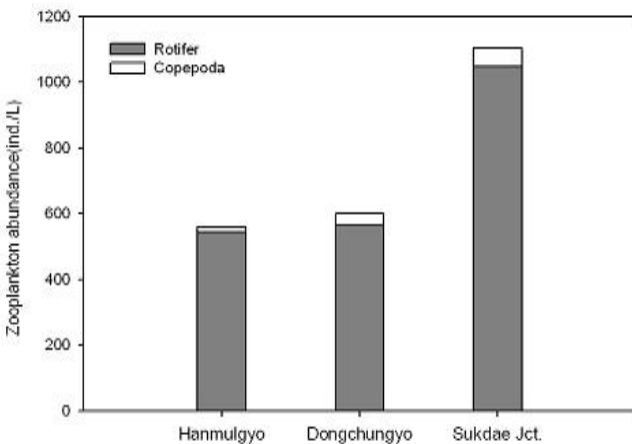


Fig. 6. Total number of zooplankton species and individuals.

Table 9. Dominant species at sampling site

site	1st survey	2nd survey	3rd survey
Hanmul-gyo	<i>Cyclops</i> sp. <i>Colurella</i> sp.	<i>Brachionus</i> sp. <i>Trichocerca</i> sp.	<i>Cyclops</i> sp. <i>Trichocerca</i> sp.
Dongchun-gyo	<i>Filinia</i> sp. <i>Polyarthra</i> sp.	<i>Brachionus</i> sp. <i>Syncheata</i> sp.	<i>Lepadella</i> sp. <i>Nauplius</i>
Sukdae Jct	<i>Filinia</i> sp. <i>Polyarthra</i> sp.	<i>Lecane</i> sp. <i>Brachionus</i> sp.	<i>Monostyla</i> sp. <i>Colurella</i> sp.

Table 10. Total number of Fish species and individuals

survey period	species	individuals
1st (2009. 8)	10	32
2nd (2009. 10)	6	26

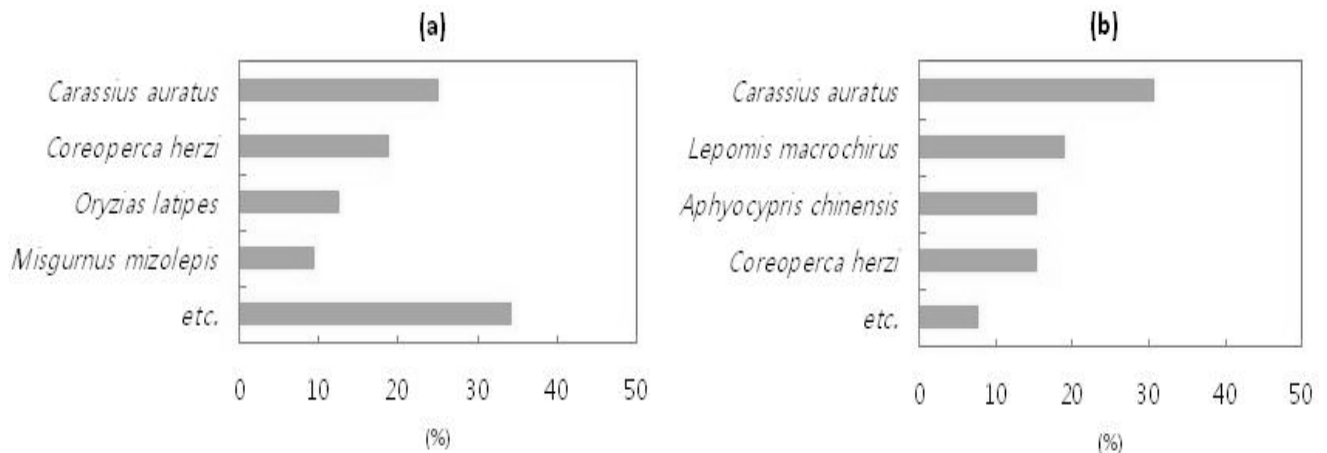


Fig. 7. Relative abundance of a collected fish fauna (a) 1st survey, (b) 2nd survey.

어류

어류 종조성 및 분포현황

수영강 중류구간에서 출현한 어류는 Table 10에 나타난 바와 같이 1차 조사, 2차 조사에서 각각 총 10종 32개체 및 6종 26개체로 나타났다. 그 중 한국 고유종은 10종 32개체 및 5종 17개체가 출현하였다.

2009년 8월중 실시한 1차 조사에서 어류는 10종 32개체로 그 중 전체 채집된 개체중 10% 이상의 비율을 차지하는 어종으로서 붕어(*Carassius auratus*)가 8개체(25.0%)로 가장 높은 우점도를 나타냈으며, 꺾지(*Coreoperca herzi*) 6개체(18.9%), 송사리(*Oryzias latipes*) 4개체(12.5%) 순으로 나타났다. 한국 고유종은 10종 32개체로 100%로 나타났다. 수영강 중류지점중 동천교 지점에서는 어류가 전혀 채집되지 않았으며, 한물교 지점에서 8종 23개체로 가장 많은 종수가 확인되었다. 비정상

개체는 나타나지 않았다.

2009년 10월중 실시한 2차 조사에서 어류는 6종 26개체로 그 중 전체 채집된 개체중 10% 이상의 비율을 차지하는 어종으로서 붕어(*Carassius auratus*)가 8개체(30.8%)로 가장 높은 우점도를 나타냈으며, 볼루길(*Lepomis macrochirus*) 5개체(19.2%), 왜물개(*Aphycypris chinensis*) 4개체(15.4%), 꺾지(*Coreoperca herzi*) 4개체(15.4%), 밀어(*Rhinogobius brunneus*) 3개체(11.5%) 순으로 나타났다. 한국 고유종은 5종 21개체로 80.8%로 나타났다. 수영강 중류지점중 동천교 지점에서는 어류가 전혀 채집되지 않았으며, 한물교 지점에서 6종 18개체로 가장 많은 종수가 확인되었다. 비정상 개체는 나타나지 않았다.

Fig. 7에 수영강 중류구간의 어종별 종 풍부도를 나타내었다. 수영강 중류구간의 어류는 2차 조사에 비해 1차 조사에서 다양한 종이 출현하였으며 우점종의 계절적 차이는 보이지 않았다.

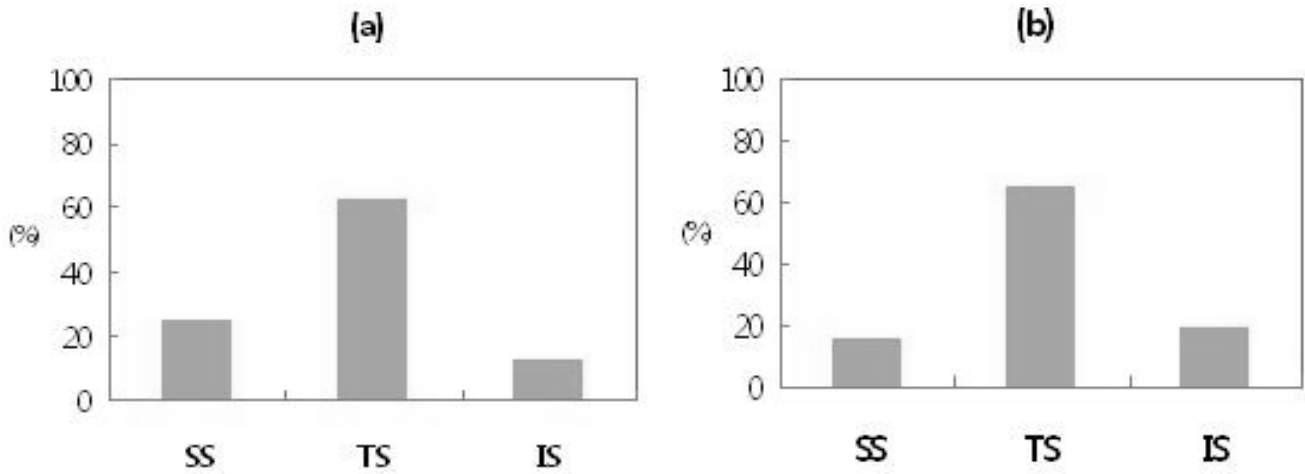


Fig. 8. Tolerant guild in middle reaches of Suyoung River (a) 1st survey, (b) 2nd survey
 SS=Sensitive Species, TS=Tolerant Species, IS=Intermediate Species.

어류의 생태지표 특성

내성도 특성

수영강 종류에서 출현한 어류를 수질오염과 서식지의 질적 저하에 대한 민감도에 따라 각각 민감종(Sensitive Species, SS), 중간종(IntemEDIATE Species, IS), 내성종(Tolerant Species, TS)으로 구분하여 나타내었다. 민감종은 교란요인에 민감하여 개체군의 규모가 감소하는 종이며, 내성종은 내성이 강하여 교란이 진행될수록 풍부도가 증가하는 종이며, 중간종은 교란의 정도에 크게 영향을 받지 않는 종이다.

Fig. 8에 수영강 종류구간 출현 어류의 내성도 특성에 따른 상대풍부도를 나타내었는데 1차 조사결과 민감종은 총 8개체가 채집되어 전체의 25.0%를 차지하였고, 내성종은 총 20개체가 채집되어 전체의 62.5%를 차지하였다. 내성종의 우세현상은 붕어가 8개체(25.0%)로 우점하고 내성종 어류의 상대풍부도가 높게 나타난 결과 때문이다. 2차 조사결과에서는 민감종은 총 4개체가 채집되어 전체의 15.4%를 차지하였고, 내성종은 총 17개체가 채집되어 전체의 65.4%를 차지하였다. 1차 조사와 마찬가지로 내성종의 우세현상은 붕어 8개체(30.8%)와 볼루길(*Lepomis macrochirus*) 5개체(19.2%)로 우점, 아우점한 결과였다.

섭식 특성

수영강 종류에서 출현한 어류를 각각의 섭식특성에 따라 충식종(Insectivores, I), 잡식종(Omnivores, O), 육식종(Carnivores, C), 초식종(Herbivore, H)의 4가지로 대별하였다. 이 요소들은 서식처의 물리·화학적 변화에 따라 각 섭식특성별 출현 어류의 종 수 및 개체수가 달라지기 때문에 하천 환경변화를 유추할 수 있는 요소이다. 섭식특성은 어류가 서식처를 선택하는데 있어서 큰 영향을 주는 요소로서 서식처의 질적 변화에 의해 먹

이원의 분포가 달라지기 때문에 어류상 또한 달라지게 된다. 섭식특성은 복합적인 먹이원을 가진 경우 보다 선호하는 먹이원(1차 먹이원)을 기준으로 구분하였으며, 기존 연구에 따르면 서식처의 특성에 따라 편차가 나타나긴 하지만 하천의 하류로 갈수록, 하천차수가 증가할수록, 수질오염이 진행될수록 충식종의 비율은 반비례하며 잡식종의비율은 정비례하는 것으로 알려져 있다.²⁾

Fig. 9.에 출현 어류의 섭식 특성을 나타내었는데 1차 조사 결과 총채집된 32개체중 잡식종은 16개체(50.0%), 충식종은 8개체(25.0%), 육식종은 8개체(25.0%), 초식종은 없는 것으로 나타나 수영강 종류에서는 잡식종이 우세한 것으로 나타났다.

2차 조사결과 수영강 종류의 어류 섭식 특성을 살펴보면, 총 채집된 26개체중 잡식종은 12개체(46.2%), 충식종은 10개체(38.5%), 육식종은 4개체(15.4%), 초식종은 없는 것으로 나타나 1차 조사와 마찬가지로 수영강 종류에서는 잡식종이 우세한 것으로 나타났다.

어류의 매트릭 특성

수영강 종류에서 확인된 어류 데이터는 어류를 이용한 생태 건강성 모델의 8개 매트릭 특성을 바탕으로 분석하였다. 8개 매트릭은 M1 (국내 종의 총수), M2 (여울성 저서종수), M3 (민감종수), M4 (내성종의 개체수 비율), M5 (잡식종의 개체수 비율), M6 (국내 종 충식종의 개체수 비율), M7 (채집된 국내 종의 총 개체수), M8 (비정상 종의 개체수 비율)로 구성된다. 어류를 이용한 생태 건강성 모델 매트릭 산정에 필요한 하천차수 산정 결과, 한물교 지점은 2차 하천으로 석대천 합류지점은 3차 하천으로 나타났다.

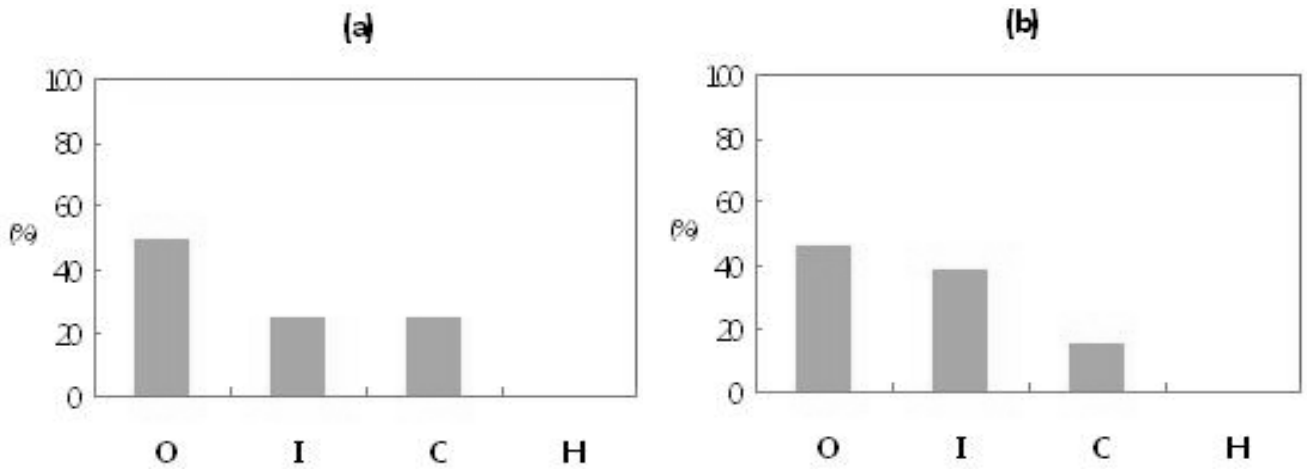


Fig. 9. Trophic guild in middle reaches of Suyoung River (a) 1st survey, (b) 2nd survey.
O=Omnivores, I=Insectivores, C=Carnivores, H=Herbivore

Table 11. Characteristic of Health metric using IBI (a) 1st survey, (b) 2nd survey

site	No of stream	period	ecological characteristics			tropic composition			abundance & health condition	
			No. of native species (M1)	No. of riffle-benthic species (M2)	No. of sensitive species (M3)	proportion of tolerant species (M4)	proportion of omnivore species (M5)	proportion of insectivore species (M6)	No. of domestic individuals (M7)	proportion of abnormality (M8)
Hanmul-gyo	2	a	8 (5)	1 (1)	2 (3)	47.8 (1)	30.4 (3)	34.8 (3)	23 (1)	0.0 (5)
		b	5 (3)	1 (1)	2 (3)	43.8 (1)	37.5 (3)	37.5 (3)	16 (1)	0.0 (5)
Sukdae Jct	3	a	3 (1)	0 (1)	0 (1)	100.0 (1)	100.0 (1)	0.0 (1)	6 (1)	0.0 (5)
		b	2 (1)	0 (1)	0 (1)	100.0 (1)	60.0 (1)	40.0 (3)	6 (1)	0.0 (5)

Table 11에 어류생물지수(IBM)를 이용한 건강성 메트릭의 특성을 나타내었다. 1차 조사에서 총 8개 메트릭의 평균값은 1.8~2.8 이었으며, 3.0 이하로 불량한 상태를 나타내는 메트릭은 M2(1.0), M3(2.0), M4(1.0), M5(2.0), M6(1.0), M7(1.0) 이었다. 내성종의 개체수 비율을 나타내는 M2, 여울성 저서중수를 나타내는 M4, 국내종의 총 개체수 비율을 나타내는 M6, 국내종의 총 개체수인 M7 값이 가장 낮았다. 반면 평균값이 3.0 이상으로 비교적 양호한 상태를 나타내는 메트릭은 M1(4.0), M8(5.0) 이었으며 비정상 개체수 비율을 나타내는 M8이 가장 양호하였다.

2차 조사에서 총 8개 메트릭의 평균값은 1.8~3.0 이었으며, 3.0 이하로 불량한 상태를 나타내는 메트릭은 M2(1.0), M3(2.0), M4(1.0), M5(2.0), M7(1.0) 이었다. 내성종의 개체수 비율을

나타내는 M2, 여울성 저서중수를 나타내는 M4, 국내종의 총 개체수인 M7 값이 가장 낮았다. 반면 평균값이 3.0 이상으로 비교적 양호한 상태를 나타내는 메트릭은 M1(3.5), M6(4.0), M8(5.0) 이었으며 비정상 개체수 비율을 나타내는 M8이 가장 양호하였다. 1차와 2차 조사에서 큰 차이를 나타내지 않았다.

다변수 어류평가모델에 의한 생태건강성 평가 및 등급도출

Table 12과 Fig. 10에 수영강 중류의 생태건강성 등급 도출 결과를 나타내었다. 한물교 지점의 어류생물지수(IBM) 모델값은 평균 21로 C등급 “보통상태” 였으며, 석대천 합류지점의 어류생물지수(IBM) 모델값은 평균 13으로 D등급 “불량상태” 로 나타났다. 상류보다 하류지점에서 생태건강성이 낮아짐을 볼 수 있는데 이는 상류부분의 경우 오염원이 적고 다양한 서식처를

가지고 있으나, 도심지를 통과하면서 생활하수 유입 영향으로 수질이 악화되고 하상의 토사 침적 및 서식의 파괴로 종 다양성 감소를 유발한 결과로 사료된다.

환경부·국립환경과학원에서 보고한 결과중 낙동강권역의 주요 조사구간별 어류생물지수(IBM)를 이용한 건강성 메트릭의 특성을 Table 13에 나타내었다.²⁾ 이 보고에 의하면 낙동강 수계의 상류에서의 (N001-N023) 1차 및 2차 조사결과 23개 구간중 각각 78.3%에 해당되는 18개 구간에서 C~D 등급을 보였다. 수영강의 수영강01은 모델값 16, C등급, 수영강02는 모델값 14, D등급으로 본 조사결과와 유사한 것으로 나타났다.

서식 및 수변환경

서식 수변환경 특성별 분포

하천 종적특성 지수 분포

하천의 생물 종 다양성은 기본적으로 흐름의 다양성에 의하여 결정되며, 하나의 구간에서 자연적으로 사주 혹은 하중도가 발생하여 하천 흐름이 변형될 경우 종다양성이 증가하게 된다. 또한 하도가 자연적으로 사행되어 있을수록 생태적 건강성이 양호하다고 할 수 있다. 비록 인위적으로 정비되었더라도 저수로가 사행되어 있으면 그나마 생태적 건강성은 좋은 것이다.

Table 14에 수영강 3개 지점의 하천 종적 특성에 대한 조사 결과를 나타내었다. 1차 조사와 2차 조사와는 큰 차이가 없었다. 하천 종적 특성을 구성하는 두가지 항목중 자연적인 종형사주의 평가 결과는 1~2점으로 낮게 나타났으나 하도의 자연성 정도는 3~4점으로 다소 높게 나타났다.

Table 12. Characteristic of Health metric using IBI

site	model value		health grade	
	1st	2nd	1st	2nd
Hanmul-gyo	22	20	C	C
Sukdae Jct	12	14	D	D

Table 13. Characteristic of Health metric using IBI of various site in Nakdong River

site		model value		health condition grade	
middle area	sampling point	1st	2nd	1st	2nd
Andong dam	whanggee stream01	26	26	B	B
Inha dam	Banbyun stream01	12	14	D	D
Nakdong Gumi	Nakdong river25	10	16	D	C
Gumho river	Gumho river02	12	16	D	C
Hapchun dam	Geochang Wii stream01	32	36	B	A
Milyang river	Milyang river01	16	16	C	C
Nakdong river	Nakdong river02	14	16	D	C
estuary dyke	western Nakdong river02	14	14	D	D
Taewha river	Taewha river02	18	20	C	C
Suyoung river	Suyoung river01	16	16	C	C
	Suyoung river03	14	14	D	D

source : Ministry of Environment · NIER, 2008

Table 14. Evaluation of vertical characteristics in Suyoung River

period	site	mean	evaluation of vertical characteristics	
			native vertical sandbank	nature of river course
1st survey	Hanmul-gyo	6	2	4
	Dongchun-gyo	4	1	3
	Sukdae Jct	5	1	4
2nd survey	Hanmul-gyo	6	2	4
	Dongchun-gyo	4	1	3
	Sukdae Jct	5	1	4

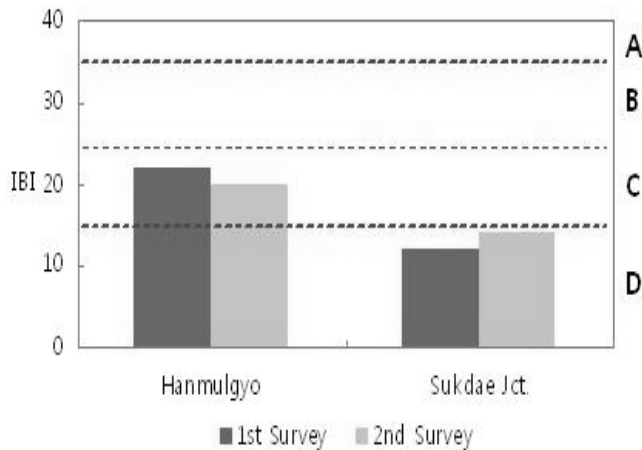


Fig. 10. Health assessment by site using IBI.

하천 횡적특성 지수 분포

수로변에 땅과 물이 만나는 곳이 넓게 확보될수록 수위 변화에 따른 생물서식의 다양성이 보장된다. 하천변 폭은 수로폭과 제방내 폭간의 비율로 완충지대 및 수로변 식생서식처를 평가한다. 저수로 호안은 홍수시 완전히 물에 잠기고 저수시에는 드러나는 곳으로 수역과 육역을 연결하는 공간으로써 생물의 이동과 생태계의 연속성 확보를 반영한다.

한편 제방은 하천구역과 비하천구역을 차단하는 인공구조물로써 생태계의 연속성에 부정적인 영향을 미친다. 저수로 호안과 마찬가지로 재료의 인공화 정도를 기준으로 판단한다.

Table 15에 수영강 3개 지점의 하천 횡적 특성에 대한 조사 결과를 나타내었다. 1차 조사와 2차 조사와는 큰 차이가 없었다. 하천 횡적 특성을 구성하는 세가지 항목중 하천변 폭은 3개 지점 모두 20%이하로 3점으로 나타났으며, 저수로 호안공 항목 결과는 3개 지점 모두 4점으로 나타나 하천 횡적 특성 항목 중 가장 높은 점수를 나타내었다. 세 번째 항목인 제방 호안 재료 항목의 결과는 2~3점으로 낮게 나타나 제방항목을 제외하고는 전반적으로 하천의 횡적 특성이 보통 수준으로 유지되는 것을 알 수 있다.

하천 서식처특성 지수 분포

하천 생태계는 외부의 물리적 교란 요인에 의해 크게 영향을 받는다. 특히 골재 채취나 하천변 토목공사 등이 발생할 경우 발생지점으로부터 하류로 많은 토사가 유입되고 하상을 구성하는 구성물질의 형태 역시 크게 변화하게 된다. 그리고 횡구조물은 어류의 이동을 방해하는 인공구조물의 상황을 평가하기 위한 항목이다.

Table 15. Evaluation of horizontal characteristics in Suyoung River

period	site	mean	evaluation of horizontal characteristics		
			width of river side	river wall	material of bank
1st survey	Hanmul-gyo	10	3	4	3
	Dongchun-gyo	9	3	4	2
	Sukdae Jct	10	3	4	2
2nd survey	Hanmul-gyo	10	3	4	3
	Dongchun-gyo	9	3	4	2
	Sukdae Jct	10	3	4	2

Table 16에 수영강 3개 지점의 하천 서식처 특성에 대한 조사 결과를 나타내었다. 1차 조사와 2차 조사와는 큰 차이가 없었으나 동천교의 경우 2차 조사시 동천교 확장공사가 진행 중이었다. 하천 서식처 특성을 구성하는 두가지 항목중 저질상태의 평가결과는 지점별로 다소 상이성을 보였는데 동천교지점이 가장 열악한 상태임을 알 수 있다. 두 번째 항목인 황구조물 결과 한물교 지점이 상대적으로 높은 것은 한물교의 경우 환경사수로 형태이나 동천교와 석대천 합류지점은 낙차폭이 크기 때문이다.

하천 교란특성 지수 분포

하천으로 오염원이 유입되면 하천 수질 및 생태에 영향을 미친다. 생활하수나 공장폐수가 하천으로 유입되지 않도록 하는 것이 하천의 수질을 보전하고 생태계를 보호할 수 있는 효율적인 방안이다. 무엇보다 하천 수질 및 생태계에 가장 영향을 미치는 것은 토지이용으로 이는 인간이 하천에 직접적으로 영향을 미치는 영역이다. 우리나라 하천은 대부분 인공제방으로 고수부지와 둑 바깥쪽 토지의 생태계가 단절되어 있으므로 토지

이용이 하천의 수질에 미치는 영향이 다른 요인보다 더 크다고 볼 수 있다. 둑 안쪽 고수부지(둔치)도 인간의 활동에 의해 가장 많이 훼손된 하천구역의 하나로 도시 하천은 하상도로, 주차장, 체육시설, 텃밭 등으로 이용하는 경우가 많아 하천 환경에 불리한 상황이다.

Table 17에 수영강 3개 지점의 하천 교란 특성에 대한 조사 결과를 나타내었다. 1차 조사와 2차 조사와는 큰 차이가 없었다. 하천 교란 특성을 구성하는 세가지 항목중 오염원 유입 정화시설의 평가 결과 한물교는 오염원 유입시설이 없는 양호한 상태였으며 동천교와 석대천 합류지점은 오염원 유입시설이 많아 낮은 점수를 나타내었다. 두 번째 항목인 하천 제외지 이용은 한물교의 경우 둑 바깥쪽 토지이용의 인공화 정도가 낮은 반면 동천교와 석대천 합류지점은 시가지와 주거지로 토지이용의 인공화 정도가 높아 낮은 점수를 나타내었다. 세 번째 항목인 하천 제내지 이용은 3지점 모두 둔치를 공원 및 운동장 시설로 조성하여 하천에 악영향을 미칠 우려가 높아 낮은 점수를 나타내었다.

Table 16. Evaluation of habitat characteristics in Suyoung River

period	site	mean	evaluation of habitat characteristics	
			conditions of sediment	horizontal structure
1st survey	Hanmul-gyo	8	4	4
	Dongchun-gyo	4	2	2
	Sukdae Jct	5	3	2
2nd survey	Hanmul-gyo	8	4	4
	Dongchun-gyo	4	2	2
	Sukdae Jct	5	3	2

Table 17. Evaluation of impaired characteristics in Suyoung River

period	site	mean	evaluation of impaired characteristics		
			sewage disposal facilities	usage of outside land of a bank	usage of inside land of a bank
1st survey	Hanmul-gyo	10	5	3	2
	Dongchun-gyo	5	2	1	2
	Sukdae Jct	5	2	1	2
2nd survey	Hanmul-gyo	10	5	3	2
	Dongchun-gyo	5	2	1	2
	Sukdae Jct	5	2	1	2

서식 수변환경 등급에 의한 수생태계 건강성 평가

수영강 중류 3개 지점의 서식수변환경 평가등급의 분포결과 는 Table 18에 나타내었다. 한물교는 부분적으로 제한요인이 있으나 서식환경 및 자연상태를 유지하는 양호한 상태인 B 등급을 나타내었으며, 전체적으로 자연 상태를 보이고 있으나 제한 요인이 많은 동천교와 석대천 합류지점은 환경상태가 보통인 C 등급을 나타내었다. Fig 11에 서식 및 수변환경지수 (HRQI ; Habitat/Riparin Quality Index)를 이용한 건강성 지수 및 등급을 나타내었다.

서식 및 수변환경상태 개선방안

수영강 중류 3개 지점에 대한 수생태계 건강성을 평가한 결과를 토대로 각 지점의 평가등급, 현재상황과 문제점 및 주요 원인과 이에 대한 건강성 확보방안을 Table 19에 나타내었다. 한물교의 경우 자연상태를 유지하는 양호한 상태이나 주변에 경륜장과 체육시설 및 놀이시설을 갖춘 스포원파크가 위치하여 자연성 훼손이 염려되므로 자연성 보전이 요망된다.

동천교와 석대천 합류지점은 하천 주변의 주거지와 도로에 의한 생활하수 등 오염물질 유입 차단이 필요하며, 현재도 하천 유량이 적어 회동수원지 물이 유지용수로 공급되고 있는 데 수

영강 중류의 하천 생태계 개선을 위해서는 유지용수의 공급이 지속되어야 할 것으로 판단된다.

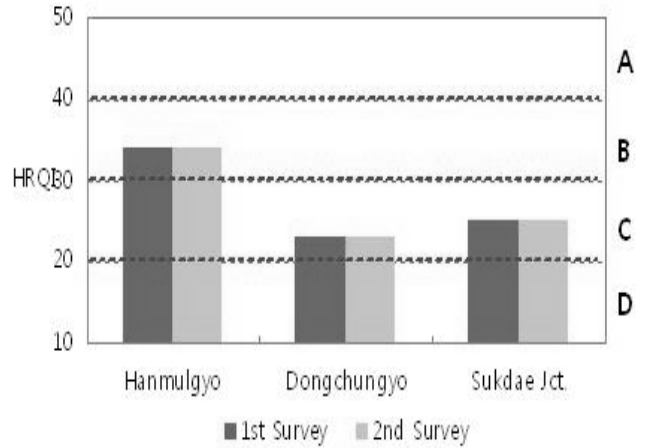


Fig. 11. Health assessment by site using HRQI.

Table 18. Health assessment by site using HRQI

period	model value		health condition	
	1st	2nd	1st	2nd
Hanmul-gyo	34	34	B	B
Dongchun-gyo	23	23	C	C
Sukdae Jct	25	25	C	C

Table 19. Health assessment, circumstances and measures in middle reaches of Suyong River

site	condition		circumstances or problems	main cause	plan of ensuring health condition
	1st	2nd			
Hanmul-gyo	B	B	<ul style="list-style-type: none"> · left wall of bank being made up stone embankment, right wall of bank preserved natural condition · river course maintained meandering · level upped riverside utilize walking road and sports facilities 	<ul style="list-style-type: none"> ·park ·sports facilities 	<ul style="list-style-type: none"> ·conservation of nature
Dongchun-gyo	C	C	<ul style="list-style-type: none"> · left wall of bank being made up concrete and artificial soil embankment · right wall of bank being made up concrete embankment · width of waterway narrowed compared with width of embankment · level upped riverside utilize park, sports facilities and parking lot 	<ul style="list-style-type: none"> ·residential area ·road ·amount of flowing water 	<ul style="list-style-type: none"> ·prevention of incoming pollutants ·lasting supply of maintenance water
Sukdae Jct	C	C	<ul style="list-style-type: none"> · left wall of bank being made up artificial soil embankment right wall of bank being made up concrete embankment · width of waterway narrowed compared with width of embankment · level upped riverside utilize field, sports facilities and parking lot 	<ul style="list-style-type: none"> ·farm land ·road ·amount of flowing water 	<ul style="list-style-type: none"> ·prevention of incoming pollutants ·lasting supply of maintenance water

이화학적 수질 및 수생태계 건강성 평가결과 비교

Table 20에 수영강 중류 3개 지점에 대한 이화학적 수질과 저서성 대형무척추동물, 어류, 서식 및 수변환경 등 수생태계 건강성 평가 결과를 비교하였다. 이화학적 수질은 환경부 수질 기준항목인 BOD를 이용하였다.

BOD에 의한 수질 등급은 2차 조사결과를 제외하고는 좋음 이상의 등급을 나타내었으나 저서생물과 어류에 의한 평가는

보통, 불량으로 다소 낮은 등급을 나타내었으며 서식 및 수변환경은 저서생물에 비해 다소 양호하게 평가되었다. 이와 같이 BOD결과에 비하여 생물지수와 수변환경지수가 더 다양한 등급을 나타내어 수생태계 건강성 평가 결과는 차이가 있는 것을 알 수 있다. 따라서 BOD로만 하천의 건강성을 표현하기에는 미흡하며 하천의 수생태계 건강성을 종합적으로 표현하기 위해서는 ” 수질-생물-수변 “을 통합하는 평가가 요구된다.

Table 20. Comparison of health assessment in water quality and biological index

site	BOD				benthos(KSI)			
	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th
Hanmul-gyo	I b	III	I a	I a	B	B	D	B
Dongchun-gyo	II	III	II	I b	D	D	D	D
Sukdae Jct	II	III	II	I b	D	D	D	D

site	fish(IBI)		habitat & waterfront environment	
	1st	2nd	1st	2nd
Hanmul-gyo	C	C	B	B
Dongchun-gyo	-	-	C	C
Sukdae Jct	D	D	C	C

결 론

본 연구에서는 수영강 중류 3개 지점을 대상으로 수생태계 건강성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 이화학적 수질

가. BOD에 의한 수질 등급은 2차 조사결과를 제외하고는 좋음 이상의 등급을 나타내었다.

나. 동천교, 석대천 합류지점은 회동수원지 물의 하천유지용수 공급으로 수질은 개선추세로 나타났다.

2. 저서성 대형무척추동물

가. 저서성대형무척추동물의 전체 분류군은 3문 5강 11목 20과 35종으로 나타났다.

나. 한물교에서는 동양하루살이가, 등딱지하루살이가 대다수 관측되어 생물등급은 “좋음~보통” 으로 나타났으며, 동천교, 석대천 합류지점은 실지렁이, 붉은 깔다구가 다량으로 관측

되어 생물등급은 “약간 나쁨~매우 나쁨” 으로 나타났다.

다. 한국오수생물지수(KSI)값에 의한 건강성 평가 결과 한물교지점은 전반적으로 B등급, 동천교, 석대천 합류지점은 전 조사기간 모두 D등급으로 나타났다.

3. 동식물 플랑크톤

가. 식물플랑크톤은 총 51속 96종이 동정되었다.

나. 동물플랑크톤은 총 13분류군이 출현하였는데 이 중 윤충류가 절대적으로 우점한 것으로 나타났으며, 지각류는 전 지점에서 출현하지 않았다.

4. 어류

가. 어류는 1차 조사, 2차 조사에서 각각 총 10종 32개체 및 6종 26개체로 나타났다. 그 중 한국 고유종은 10종 32개체 및 5종 17개체가 출현하였다.

나. 수영강 중류의 생태건강성 등급 도출 결과, 한물교 지점은 C등급, 석대천 합류지점은 D등급으로 나타났다.

5. 서식 및 수변환경

가. 한물교에서는 물은 맑으며, 바닥은 주로 자갈 및 모래, 부착조류가 약간 존재하며, 동천교와 석대천 합류지점에서는 물은 약간 혼탁하며, 하상은 주로 검은색으로 부착조류는 갈색 혹은 회색을 띠며 매우 많이 존재하는 것으로 나타났다.

나. 한물교는 부분적으로 제한요인이 있으나 서식환경 및 자연상태를 유지하는 양호한 상태인 B 등급을 나타내었으며, 전체적으로 자연 상태를 보이고 있으나 제한요인이 많은 동천교와 석대천 합류지점은 환경상태가 보통인 C 등급을 나타내었다.

다. 한물교의 경우 자연상태를 유지하는 양호한 상태이나 주변에 경륜장과 체육시설 및 놀이시설을 갖춘 스포원파크가 위치하여 자연성 훼손이 염려되므로 자연성 보전이 요망된다.

6. 이화학적 수질 및 수생태계 건강성 평가결과 비교

가. BOD 결과에 비하여 생물지수와 수변환경지수가 더 다양한 등급을 나타내었다.

나. 하천의 수생태계 건강성을 종합적으로 표현하는 "수질-생물-수변"을 통합하는 평가가 요구된다.

7. 수생태계 건강성 확보방안

가. 하천 생태계 개선을 위해서는 자연성 보전이 요망된다.

나. 하천 주변의 주거지와 도로에 의한 생활하수 등 오염물질 유입 차단이 필요하다.

다. 현재도 하천 유량이 적어 회동수원지 물이 유지용수로 공급되고 있는 데 수영강 중류의 수생태계 건강성 확보를 위해서는 유지용수의 공급이 지속되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 환경부, 국립환경과학원, 물환경종합평가방법 개발 조사연구(Ⅲ)(2006).
2. 환경부, 국립환경과학원, 수생태건강성조사 및 평가 최종보고서(2008).
3. 권동민 등, 다변량분석법을 이용한 수영강수계의 수질특성 평가, 부산광역시보건환경연구원보, 18(1), pp.98~107 (2008).
4. 윤일병, 한국식물도감 제 30권 동물편(수서곤충류), 문교부(1988).
5. 윤일병, 수서곤충검색도설(1995).
6. 원두희, 한국의 수서곤충(2005).
7. 川合禎次, 日本産水生昆虫(2005).
8. Merritt and Cummins, Aquaticinsects of North America (1996).
9. Shannon CE and W WEAVER 1963, Diversity indices, In:Luudwig JA and JF Retnold, 1988 statistical Ecology Jhon Wiley & Sons.
10. MaNaughton S.j 1967. Relationship among Functional properties of California Grassland Nature 216.
11. 정준, 한국담수조류도감, 아카데미서적(1993).
12. Hirose and Yamagishi, 일본담수조도감, 内田老ろうかく(1977).
13. 환경부, 수질오염공정시험기준(2009).
14. 조규송, 한국담수동물플랑크톤도감, 아카데미서적(1993).
15. 환경부, 수생태계 건강성 조사계획 수립 및 지침(2007).
16. 김익수, 박종영, 원색도감 한국의 민물고기, 교학사(2006).
17. 최기철, 쉽게 찾는 내고향 민물고기, 현암사(2008).
18. 김익수, 최윤, 이충렬, 이용주, 김병직, 김지현, 원색 한국 어류대도감, 교학사(2006).
19. 환경부, 국립환경과학원, 쉬리야, 꼬치동자개를 보았니? (2009).
20. Hellawell J.M 186 Biological indicators of freshwater pollution and environmental management, Elsevier Applied Science Publishers, London, England.