

수질, 저서성 대형무척추동물 및 어류의 생태특성을 이용한 수영강 중류 수생태 건강성 평가

전대영[†] · 이소림 · 손정원 · 차영욱 · 권기원 · 유평종

부산광역시 보건환경연구원 환경조사과

Aquatic Ecosystem Health Assessment in Middle Reach of Suyoung River using Characteristics of Benthic Macroinvertebrate and Fish Fauna

Dae-Young Jeon[†] · So-Lim Lee · Jung-won Son · Young-Uk Cha · Ki-Won Kwon · Pyung-Jong Yoo

Division of Environmental Research, Institute of Health & Environment, Busan Metropolitan City
(Received 12 July 2010, Revised 6 October 2010, Accepted 12 October 2010)

Abstract

Benthic macroinvertebrate and fish fauna were investigated from September 2008 to October 2009 in the middle reach of the Suyoung river in Busan. During the survey period benthic macroinvertebrates were collected total 35 species at the three sites (Hanmul-gyo, Dongcheon-gyo, Seokdae Jct.) of Suyoung river. At that sites, species diversity index was 1.9, 1.5, 1.6, dominance index was 0.75, 0.81, 0.86 and Korean Saprobic Index (KSI) was 1.8(B), 4.4(D), 4.4(D) on average, respectively. Dominant species was *Caenis* Kua, Chironomidae sp., at Hanmul-gyo site and *Limnodrilus gotoi*, Chironomidae sp., at Dongcheon-gyo and Seokdae Jct. sites. Fish fauna was also investigated at the two sites (Hanmul-gyo and Seokdae Jct.) of Suyoung river. Total caught fishes were 10 species 32 individuals in the first survey and 6 species 26 individuals in the second survey. Dominant species was *Carassius auratus* in the both surveys. Index of Biological Integrity (IBI) value was C grade at the Hanmul-gyo and D grade at the Seokdae Jct.

keywords : Benthic macroinvertebrates, Fish fauna, Index of Biological Integrity (IBI), Korean Saprobic Index (KSI)

1. 서론

우리나라에서는 그간의 수질관리정책이 유기물과 독성물질 등의 화학적 오염, 하수와 공장폐수 등의 점오염원, 그리고 인간의 건강관리 위주로 시행되어 왔다. 그러나 이화학적 측정·평가만으로는 다양한 생물이 생존할 수 있는 환경의 직접적 평가와 증명은 되지 않는다.

최근 환경부는 기존의 이화학적 평가뿐만 아니라 생물학적인 평가기준을 마련하여 수생태계의 총체적인 평가기준을 마련하였다(환경부, 2008). 서식하는 생물의 구조와 기능에 근거한 생물학적 평가는 이화학적 평가에 비하여 해당 물환경에 대하여 교란된 수체의 현재 상태를 파악할 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 있다(환경부, 2008).

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 m인 강으로, 주변은 주거밀집지역, 상업지역, 공업지역이 혼재된 지역이다. 수영강은 중류부 이후부터는 회동수원지로 인하여 그 생태의 축이 단절되고 해당지역이 도시화됨에 따라 오염이 가중된 대표적 하천이다(권동민, 2008).

이러한 수영강을 살리기 위하여 현재 하수의 적극적인 차집과 낙동강 원수 및 동부하수처리장 방류수를 하천유지용수로 방류하는 등 다양한 물환경 개선작업을 시도하고 있으나 다양한 생물이 서식할 수 있는 환경을 지속적으로 보존하고 조성해 가는 것이 하천복원에 있어 주요한 과제로 대두되고 있다. 이를 위해서는 생물의 서식상황조사 및 이들의 상호관련 검토 등의 생물을 주체로한 연구를 수행할 필요가 있다.

이에 본 연구는 수영강 중류구간에 대하여 저서성 대형무척추동물(Benthic macroinvertebrate), 어류에 대하여 수생태계 건강성 조사 및 평가를 실시하였다. 이를 통하여 수영강 중류의 수생태계 건강성을 파악하고 물환경 보전정책을 위한 기초자료를 확보하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상 및 기간

[†] To whom correspondence should be addressed.
jeon1st@korea.kr

본 연구의 조사지점은 수영강 중류 구간 중 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.

Table 1. Survey period by items

	Water & benthic macroinvertebrates	Fishes
1st survey	2008. 9	2009. 8
2nd survey	2009. 3	2009. 10
3rd survey	2009. 5	-
4th survey	2009. 9	-

2.2. 수질 분석

수온, pH, 용존산소(Dissolved Oxygen, DO)는 현장 측정기(YSI-556MPS)를 이용하여 현장 측정하였으며, 생물화학적산소요구량(Biochemical Oxygen Demand, BOD), 총질소(Total Nitrogen, TN), 총인(Total Phosphorus, TP) 등은 시료 2 L를 채수, 아이스박스에서 운반하여 수질오염공정시험방법(환경부, 2007b)에 따라 분석하였다.

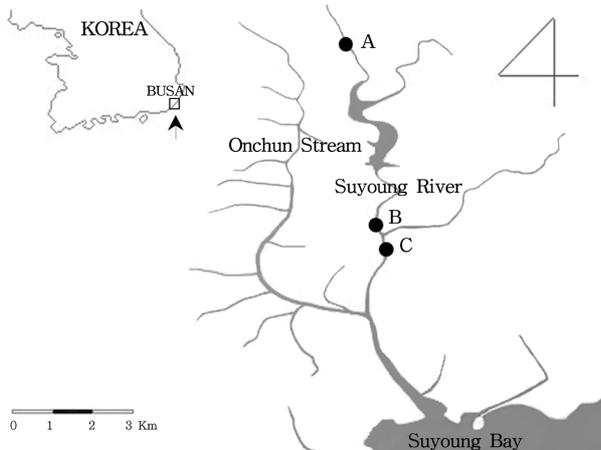


Fig. 1. Map of the Suyoung River showing sampling sites A:Hanmul-gyo B:Dongchun-gyo C:Sukdae Jct.

2.3. 저서성 대형무척추동물

2.3.1. 채집 및 동정

저서성 대형무척추동물 채집은 계류용 정량채집망인 Surber net(30×30 cm, 망목 0.5 mm)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 70% 에탄올에 보관하였다. 생물종의 분류는 윤일병(1988, 1995), 원두희(2005), 川合禎次(2005), Merritt and Cummins(1996)를 참조하여 실시하였다. 종 수준까지 분류가 어려운 종은 외부형태가 확연히 구별되는 종을 대상으로 임의로 파나 속 수준에서 sp 1. 등의 형태로 정리하였다.

2.3.2. 군집구조분석

저서성 대형무척추동물의 군집구조를 파악하기 위해 채취시기 및 지점별로 개체수 현존량과 종수, 종다양성지수, 우점도지수를 산출하여 비교하였다.

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.

$$H' = -\sum(n_i/N) \cdot \log_2(n_i/N) \quad (1)$$

(n_i : i 종의 개체수, N : 총개체수)

우점도지수는 McNaughton's dominance index (DI)(McNaughton, 1967)를 이용하여 산출하였으며 산출식은 식 (2)와 같다.

$$DI = (n_1 + n_2)/N \quad (2)$$

(n_1 : 우점종, n_2 : 아우점종, N : 총개체수)

2.3.3. 한국오수생물지수(KSI) 산정

저서성 대형무척추동물을 이용한 각 조사구간의 수생태계 평가는 물환경종합평가방법 개발 조사연구(환경부, 2006)에서 제안된 한국오수생물지수(Korean Saprobic Index)를 이용하였으며, 이 값은 각 지표생물군의 오락계급치(S) 및 지표가중치(G)를 적용하여 산출하였으며, 산출식은 식 (3)과 같다.

$$KSI = \sum S_i \cdot A_i \cdot G_i / \sum A_i \cdot G_i \quad (3)$$

(S_i : i 군의 오락계급치, A_i : i 군의 출현개체수,

G_i : i 군의 지표가중치)

2.4. 어류

2.4.1. 채집 및 종분류

어류 현장조사는 환경부의 물환경 종합 평가개발 조사연구(환경부, 2006) 및 수생태계 건강성 조사계획 수립 및 지침(환경부, 2007)의 어류 조사방법에 의거하였다. 어류 채집은 한물교와 석대천 합류지점 2곳에서 실시하였다. 어류 채집의 정량화를 위하여 채집거리는 100 m, 조사소요시간은 50분으로 한정하였고, 가능한 한 여울(Riffle), 소(Pool), 흐르는 곳(Run)을 포함하는 곳에서 조사빈도를 균등하게 하여 가슴장화를 착용하여 접근 가능한 장소에서 조사를 실시하였다. 하천차수는 1:120000 축적의 지도를 이용하여 Strahler 방법에 따라 결정하였다.

조사도구는 투망(망목 5×5 mm)과 족대(망목 4×4 mm)를 이용하였고 3인 1조로 구성 조사하였다. 종 분류는 채집시 현장에서 즉시 수행하였으며, 현장 분류가 어려운 경우 10% 포르말린 용액에 고정하여 실험실로 운반 후 관련 도감에 의거하여 분류하였다. 채집된 어류는 김익수와 박종영(2006)과 최기철(2008), 김익수와 박종영(2006), 환경부(2009)에 의거하여 동정하였다.

2.4.2. 어류의 내성도, 섭식특성 및 생태계 건강성 평가

채집된 어류의 내성도, 섭식 특성 및 생태계 건강성 평가는 환경부의 물환경종합평가개발 조사연구(환경부, 2006) 및 수생태계 건강성 조사계획 수립 및 지침(환경부, 2007a) 등의 문헌을 참고하여 조사·평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 이화학적 수질

수영강 중류 3개 지점에 대한 이화학적 수질 분석 결과는 Table 2에 나타내었다. 용존산소(DO)는 한물교 지점에서 높게 나타났으며, 전 지점에서 포화농도에 가까운 높은 농도를 나타내었다. 생물화학적산소요구량(BOD)은 한물교 지점에서 0.6~3.4 mg/L, 동천교 지점에서 1.6~4.0 mg/L, 석대천 합류지점에서 1.9 ~ 4.1 mg/L로 하류로 갈수록 높게 나타났으며, 전 지점에서 채수시기에 따른 BOD의 변동폭이 컸다. 부유물질(SS)은 동천교 지점에서 11.8~19.5 mg/L 정도로 다른 두 지점보다 높게 나타났는데 이는 조사지점 인근의 교량공사로 인해 탁질이 누출되었기 때문으로 생각된다. 영양염류 농도와 전기전도도는 석대천 합류지점에서 총질소(TN)가 4.035~7.474 mg/L, 총인(TP)이 0.147~0.511 mg/L, 전기전도도(Conductivity)가 1610~2507 μ S/cm로 다른 두 지점보다 약간 높게 나타났는데, 이는 수영강으로 합류되는 석대천 유지용수로 부산 동부하수처리장의 방류수를 사용하고 있어 방류수의 영양염류 농도 등이 영향을 미쳤기 때문으로 생각된다. 총대장균군수도 석대천 합류지점에서 16000~160000 MPN/100mL로 가장 높게 나타나 석대천 유역의 하수 오염이나 비점오염원 부하 등이 의심되었다.

3.2. 저서성 대형무척추동물

3.2.1. 출현종수와 개체수의 변화

저서성 대형무척추동물은 종류가 매우 다양하고 환경조건에 따른 적응성이 좋다. 또한, 이동성이 적고 서식처의 환경교란에 대하여 민감하게 반응하며, 정량채집과 분석이

Table 3. Total No. 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

쉽기 때문에 이를 이용한 수질환경조사가 활발하게 이루어지고 있는 추세이다.

Table 3에 나타난 바와 같이 2008년 9월부터 2009년 10월까지 총 4차에 걸친 조사 결과 수영강 중류 3개 조사지점에서 서식하는 저서성 대형무척추동물의 전체 분류군은 3문 5강 11목 20과 35종으로 나타났다. 수영강 중류 3개 조사지점에서 확인된 총 35종의 저서성 대형무척추동물의 출현종 중에서 비곤충류는 연체동물문(Mollusca) 1종, 환형동물문(Annelida) 3종, 갑각강(Crustacea) 1종으로 총 5종이 출현하였고, 수서곤충류는 하루살이목(Ephemeroptera) 9종, 잠자리목(Odonata) 3종, 딱정벌레목(Coleoptera) 1종, 파리목(Diptera) 9종, 날도래목(Trichoptera) 7종, 툽툽이목(Collembola) 1종으로 총 30종이 출현하여 전체 출현종의 85.7%를 차지하였다.

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 붉은색 깔따구류(Chironomidae sp.)와 환형동물문의 실지렁이(Limnodrilus gotoi)의 점유율이 전 조사시기에 걸쳐 매우 높게 나타났다.

3.2.2. 우점종 및 점유율의 변화

Table 5는 각 지점별 우점, 아우점종 및 우점률을 나타내었는데, 한물교는 1차, 4차 조사에서 등딱지하루살이(Caenis

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

Period	Site	pH	DO (mg/L)	Conductivity (μ S/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)	Total Coliform (MPN/100mL)	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	7.5	10.1	384	4.1	6.0	15.2	0.180	0.035	15.6	35000	0.198
	Sukdae Jct	7.8	10.0	1816	4.0	8.8	7.7	7.474	0.511	13.6	160000	0.396
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	10.5	460	2.2	8.8	19.5	3.245	0.090	25.6	3300	0.764
	Sukdae Jct	7.7	9.2	1610	2.2	6.6	13.1	6.935	0.147	8.3	24000	0.460
4th survey	Hanmul-gyo	8.6	7.6	243	0.7	5.0	3.1	2.745	0.101	-	1700	0.070
	Dongchun-gyo	7.3	6.3	167	1.9	5.4	11.8	1.526	0.101	11.5	790	0.379
	Sukdae Jct	7.5	7.4	2507	1.6	7.4	6.4	4.438	0.192	15.2	16000	0.402

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

	1st survey	2nd survey	3rd survey	4th survey
Total abundance	12444.4	34944.4	13455.6	14774.1
(the number of species)	(17)	(27)	(12)	(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)
Ephemeroptera	1085.2 (6)	344.4 (6)	674.1 (3)	7274.1 (6)
Odonata	-	3.7 (1)	-	7.4 (2)
Plecoptera	-	-	-	-
Megaloptera	-	-	-	-
Insecta	-	-	-	3.7 (1)
Coleoptera	-	-	-	-
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)	-	-

	1st survey	Hanmul-gyo	Dongchun-gyo	Sukdae Jct.
Total	1744.4	2963.0	7737.0	
Platyhelminthes	-	-	-	
Annelida	11.1	1651.9	4525.9	
Mollusca	-	-	-	
Crustacea	11.1	-	3.7	
Ephemeroptera	896.3	140.7	48.1	
Odonata	-	-	-	
Plecoptera	-	-	-	
Megaloptera	-	-	-	
Insecta	-	-	-	
Coleoptera	-	-	-	
Diptera	825.9	1155.6	3148.1	
Trichoptera	-	14.8	11.1	
Collembola	-	-	-	

	2nd survey	Hanmul-gyo	Dongchun-gyo	Sukdae Jct.
Total	24281.5	5844.4	4818.5	
Platyhelminthes	-	-	-	
Annelida	3.7	5048.1	2259.3	
Mollusca	3.7	-	3.7	
Crustacea	29.6	-	14.8	
Ephemeroptera	344.4	-	-	
Odonata	-	-	3.7	
Plecoptera	-	-	-	
Megaloptera	-	-	-	
Insecta	-	-	-	
Coleoptera	-	-	-	
Diptera	23781.5	796.3	2385.2	
Trichoptera	118.5	-	133.3	
Collembola	-	-	18.5	

	3rd survey	Hanmul-gyo	Dongchun-gyo	Sukdae Jct.
Total	3474.1	2455.6	7525.9	
Platyhelminthes	-	-	-	
Annelida	1555.6	1529.6	4003.7	
Mollusca	270.4	-	-	
Crustacea	140.7	3.7	3.7	
Ephemeroptera	666.7	-	7.4	
Odonata	-	-	-	
Plecoptera	-	-	-	
Megaloptera	-	-	-	
Insecta	-	-	-	
Coleoptera	-	-	-	
Diptera	829.6	922.2	3511.1	
Trichoptera	11.1	-	-	
Collembola	-	-	-	

	4th survey	Hanmul-gyo	Dongchun-gyo	Sukdae Jct.
Total	10081.5	3922.2	770.4	
Platyhelminthes	-	-	-	
Annelida	40.7	1407.4	300.0	
Mollusca	-	3.7	11.1	
Crustacea	366.7	-	-	
Ephemeroptera	7248.1	25.9	-	
Odonata	7.4	-	-	
Plecoptera	-	-	-	
Megaloptera	-	-	-	
Insecta	-	-	-	
Coleoptera	3.7	-	-	
Diptera	2411.1	2474.1	459.3	
Trichoptera	3.7	11.1	-	
Collembola	-	-	-	

Table 5. Dominant species and rate at sampling site

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

Kua)가 우점을 보였으며, 2차 조사에서는 깔따구류가 다량 증가로 인해 우점을, 3차 조사에서는 오염수역에 서식하는 실지렁이류가 우점하는 것으로 나타났다. 동천교, 석대천 합류지점은 실지렁이류와 깔따구가 전 조사시기에 걸쳐 우점을 보였으며, 우점률이 매우 높아 조사지점의 단순한 군집구조를 반영했다.

3.2.3. 군집지수의 변화

수영강 종류 3개 조사지점에서의 종다양성 지수(H') 및 우점도 지수(DI) 변화는 Fig. 2, 3에 나타났다.

조사지점별 평균 종다양성 지수값을 살펴보면 한물교가 1.87±0.86으로 가장 높았으며, 다음으로 석대천 합류 1.62±0.15, 동천교 1.52±0.58 순으로 나타났다.

수영강 종류 3개 조사지점에서의 우점도 지수값을 살펴보면, 한물교의 평균 우점도 지수값은 0.75±0.15, 동천교 0.81±0.11, 석대천합류 0.86±0.04로 동천교, 석대천 합류지점에 비해 상대적 오염도가 덜한 한물교의 우점도 지수값이 낮게 산출되었으며, 하상부패 등으로 오염도가 높은 동천교, 석대천 합류지점의 우점도 지수값은 높게 나타났다. 한물교의 경우 2차 조사에서 우점도 지수값이 큰 폭으로 증가하여 하천환경이 불안정한 상태를 보이는 것으로 나타났다.

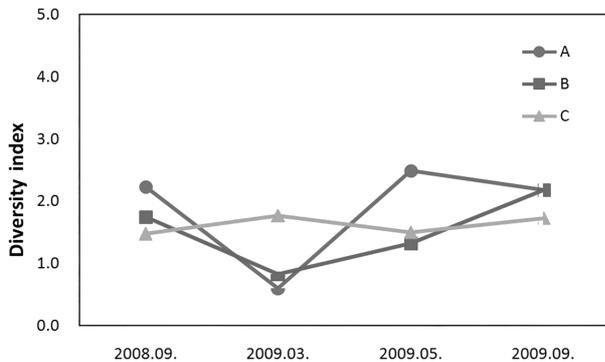


Fig. 2. Diversity Index at each sites during the study period
A: Hanmul-gyo, B: Dongchun-gyo, C: Sukdae Jct.

3.2.4. 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

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

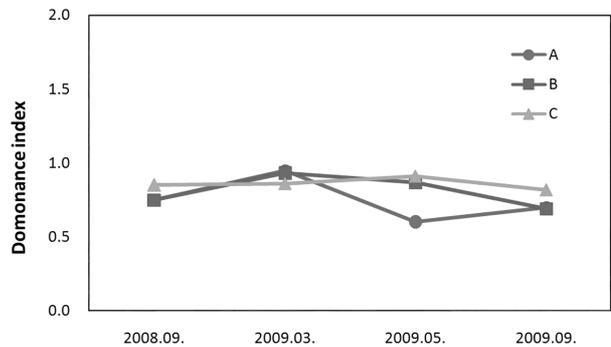


Fig. 3. Dominance Index at each sites during the study period
A: Hanmul-gyo, B: Dongchun-gyo, C: Sukdae Jct.

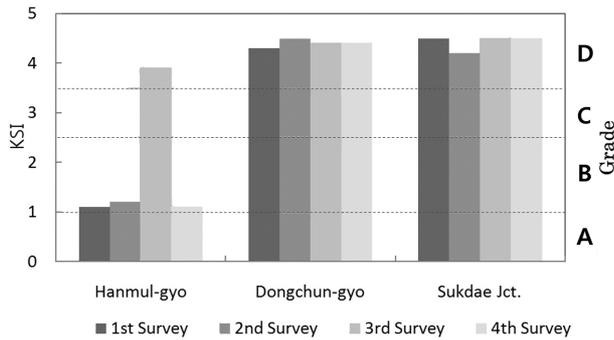


Fig. 4. Health assessment by site using KSI.

불량으로 나타나고 다양도 지수의 변화 폭도 크게 나타나는 등 불안정한 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.

3.3. 어류

3.3.1. 어류 종조성 및 분포현황

수영강 중류구간에서 출현한 어류는 Table 7에 나타난 바와 같이 1차 조사에서 한물교는 8종 23개체, 석대천 합류지점은 6종 9개체가 나타났으며, 2차 조사에서 한물교는 6종 18개체, 석대천 합류지점은 3종 8개체로 나타났다.

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. 수영강 중류지점 중 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 붕어가 8개체(30.8%)로 가장 높은 우점도를 나타냈으며, 블루길(*Lepomis macrochirus*) 5개체(19.2%), 왜몰개(*Aphyocypris chinensis*) 4개체(15.4%), 꺾지 4개체(15.4%), 밀어(*Rhinogobius brunneus*) 3개체(11.5%) 순으로 나타났다. 수영강 중류지점중 동천교 지점에서는 어류가 전혀 채집되지 않았으며, 한물교 지점에서 6종 18개체로 가장 많은 종수가 확인되었다. 비정상 개체는 모든 지점에서 나타나지 않았다. 수영강 중류구간의 어류는 2차 조사에 비해 1차 조사에서 다양한 종이 출현하였으며 최우점종의 계절적 차이는 보이지 않았다.

Fig. 5에 수영강 중류구간의 어종별 출현량을 나타내었다.

Table 7. Total number of Fish species and individuals

Survey period	Site	Species	Individuals
1st (2009. 8)	Hanmul-gyo	8	23
	Sukdae Jct.	3	9
2nd (2009. 10)	Hanmul-gyo	6	18
	Sukdae Jct.	3	8

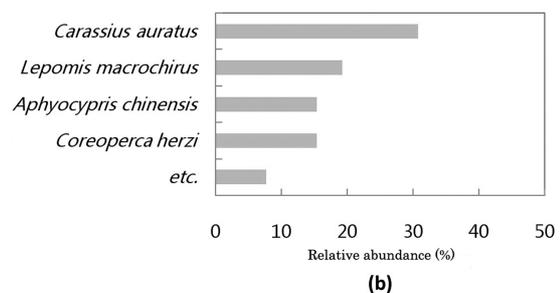
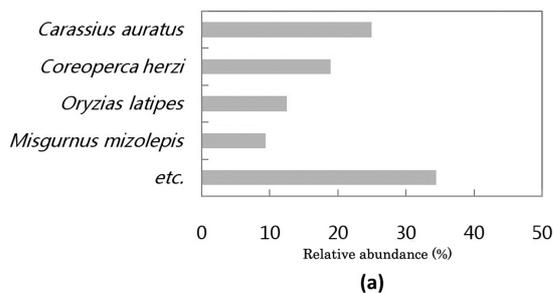


Fig. 5. Relative abundance of a collected fish fauna (a) 1st survey, (b) 2nd survey.

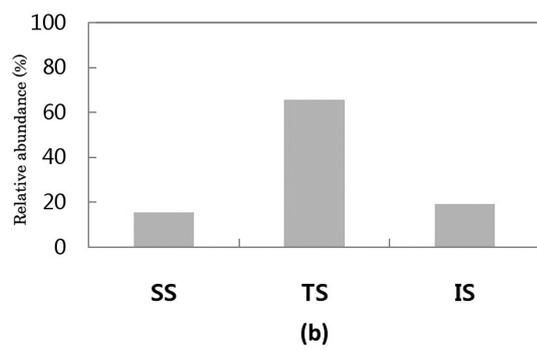
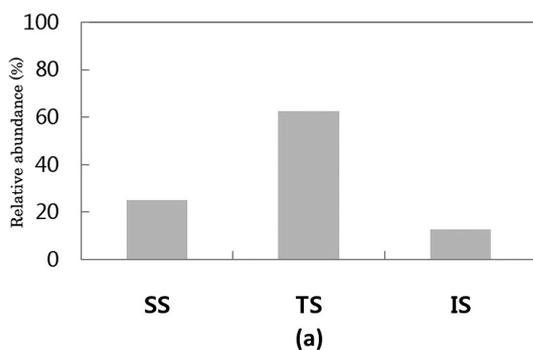


Fig. 6. Tolerant guild in middle reaches of Suyoung River (a) 1st survey, (b) 2nd survey. SS=Sensitive Species, TS=Tolerant Species, IS=Intermediate Species.

3.3.2. 어류의 생태지표 특성

3.3.2.1. 내성도 특성

수영강 증류에서 출현한 어류를 수질오염과 서식지의 질적 저하에 대한 민감도에 따라 각각 민감종(Sensitive Species, SS), 중간종(Intmediate Species, IS), 내성종(Tolerant Species, TS)으로 구분하여 Table 8에 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. 6에 수영강 증류구간 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 블루길 5개체(19.2%)로 우점, 아우점한 결과였다.

3.3.2.2. 섭식 특성

수영강 증류에서 출현한 어류를 각각의 섭식특성에 따라 충식종(Insectivores, I), 잡식종(Omnivores, O), 육식종(Carnivores, C), 초식종(Herbivore, H)의 4가지로 대별하였다. 이 요소들은 서식지의 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 먹이원의 분포가 달라지기 때문에 어류상 또한 달라지게 된다. 섭식특성은 복합적인 먹이원을 가진 경우 보다 선호하는 먹이원(1차 먹이원)을 기준으로 구분하였으며, 기존 연구에 따르면 서식지의 특성에 따라 편차가 나타나기는 하지만 하천하류로 갈수록, 하천차수가 증가할수록, 수질오염이 진행될수록 충식종의 비율은 반비례하며 잡식종의비율은 정비례하는 것으로 알려져 있다(환경부, 2008).

Fig. 7에 출현 어류의 섭식 특성을 나타내었는데 1차 조사결과 총채집된 32개체중 잡식종은 16개체(50.0%), 충식종은 8개체(25.0%), 육식종은 8개체(25.0%), 초식종은 없는 것으로 나타나, 수영강 증류에서는 잡식종이 우세한 것으로 나타났다.

2차 조사결과 수영강 증류의 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 증류에서는 잡식종이 우세한 것으로 나타났다.

3.3.3. 어류의 메트릭 특성

수영강 증류에서 확인된 어류 데이터는 어류를 이용한 생태 건강성 모델의 8개 메트릭 특성을 바탕으로 분석하였다(환경부, 2007b). 8개 메트릭은 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

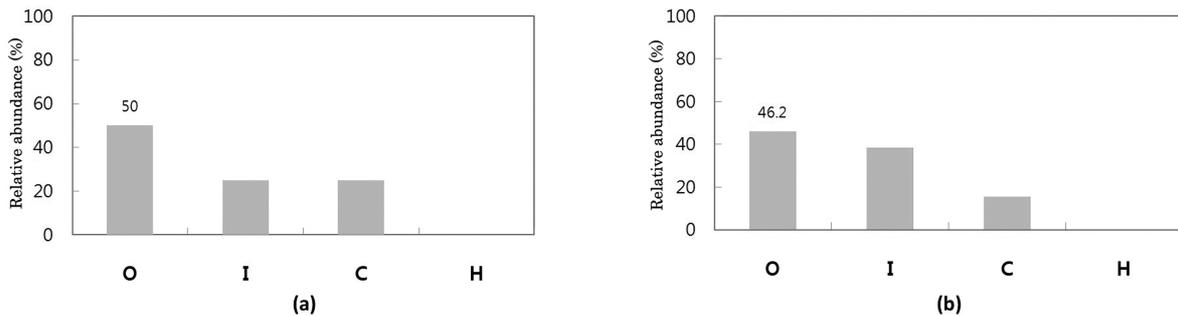


Fig. 7. Trophic guild in middle reaches of Suyoung River (a) 1st survey, (b) 2nd survey. O=Omnivores, I=Insectivores, C=Carnivores, H=Herbivore

Table 8. Trophic guild in middle reaches of Suyoung River

Tolerant guild	1st survey		2nd survey	
	Hanmul-gyo	Sukdae Jct.	Hanmul-gyo	Sukdae Jct.
Sensitive Species	<i>Coreoperca herzi</i>	-	<i>Coreoperca herzi</i>	-
	<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>			
Tolerant Species	<i>Carassius auratus</i>	<i>Carassius auratus</i>	<i>Carassius auratus</i>	<i>Carassius auratus</i>
	<i>Oryzias latipes</i>	<i>Cyprinus carpio</i>	<i>Aphyocypris chinensis</i>	<i>Aphyocypris chinensis</i>
	<i>Silurus asotus</i>	<i>Misgurnus mizolepis</i>	<i>Lepomis macrochirus</i>	<i>Lepomis macrochirus</i>
	<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>			
Intermediate Species	<i>Tridentiger brevispinis</i>	-	<i>Rhinogobius brunneus</i>	-
	<i>Leiocassis ussuriensis</i>		<i>Gymnogobius urotaenia</i>	

Table 9. 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)

(비정상 종의 개체수 비율)로 구성된다. 어류를 이용한 생태 건강성 모델 메트릭 산정에 필요한 하천차수 산정 결과, 한물교 지점은 2차 하천으로 석대천 합류지점은 3차 하천으로 나타났다.

Table 9에 어류생물지수(IBM)를 이용한 건강성 메트릭의 특성을 나타내었다. 1차 조사에서 총 8개 메트릭의 평균값은 1.8~2.8이었으며, 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 저서종수를 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 저서종수를 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.

3.3.4. 다변수 어류평가모델에 의한 생태건강성 평가 및 등급 도출

Table 10과 Fig. 8에 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(2008)에서 보고한 낙동강권역의 주요 조사구간별 어류생물지수(IBM)를 이용한 건강성 메트릭의 특성 결과에 의하면 낙동강 수계의 상류에서의 (N001-N023) 1차 및 2차

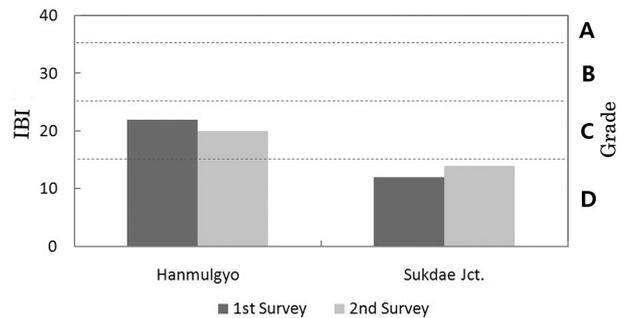


Fig. 8. Health assessment by site using IBI.

Table 10. 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

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.

3.4. 이화학적 수질 및 수생태계 건강성 평가결과 비교

Table 11에 수영강 중류 3개 지점에 대한 이화학적 수질과 저서성 대형무척추동물, 어류 등 수생태계 건강성 평가 결과를 비교하였다. 이화학적 수질은 환경부 수질기준항목인 BOD를 이용하였다.

BOD에 의한 수질 등급은 2차 조사결과를 제외하고는 좋음 이상의 등급을 나타내었으나 저서생물과 어류에 의한 평가는 보통, 불량으로 다소 낮은 등급을 나타내었다. 이와 같이 BOD결과에 비하여 생물지수가 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”을 통합하는 평가가 요구된다.

4. 결론

본 연구에서는 수영강 중류 3개 지점을 대상으로 저서성

Table 11. Comparison of health assessment in water quality and biological index

Site	BOD				Benthos (KSI)				Fish (IBI)	
	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd
Hanmul-gyo	Ib	III	Ia	Ia	B	B	D	B	C	C
Dongchun-gyo	II	III	II	Ib	D	D	D	D	-	-
Sukdae Jct.	II	III	II	Ib	D	D	D	D	D	D

대형무척추동물과 어류에 대한 수생태계 건강성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 이화학적 수질(BOD)에 의한 수질 등급은 2차 조사결과를 제외하고는 “좋음” 이상의 등급을 나타내었으며 동천교, 석대천 합류지점은 회동수원지 물의 하천 유지용수 공급으로 수질은 개선추세로 나타났다.
- 2) 저서성 대형무척추동물의 전체 분류군은 3문 5강 11목 20과 35종으로 나타났는데 한물교에서는 동양하루살이, 등딱지하루살이가 대다수 관측되어 생물등급은 “좋음” ~ “보통”으로 나타났으며, 동천교, 석대천 합류지점은 실지렁이, 붉은깔따구가 다량으로 관측되어 생물등급은 “약간나쁨 ~ 매우나쁨”으로 나타났다. 한국 오수생물지수(KSI)에 의한 건강성 평가 결과 한물교 지점은 전반적으로 B등급, 동천교, 석대천 합류지점은 전 조사기간 모두 D등급으로 나타났다.
- 3) 어류는 1차 조사, 2차 조사에서 각각 총 10종 32개 체 및 6종 26개체로 나타났다. 수영강 중류의 생태건강성 등급 도출 결과, 한물교 지점은 C등급, 석대천 합류지점은 D등급으로 나타났다.
- 4) 이화학적 수질 및 수생태계 건강성 평가결과 BOD 결과에 비하여 생물지수가 더 다양한 등급을 나타내었으며 하천의 수생태계 건강성을 종합적으로 표현하는 “수질-생물”을 통합하는 평가가 요구된다.
- 5) 수생태계 건강성 확보방안으로는 하천 생태계 개선을 위해서는 자연성 보전이 요망되며 하천 주변의 주거지와 도로에 의한 생활하수 등 오염물질 유입 차단이 필요하다. 현재도 하천 유량이 적어 회동수원지 물이 유

지용수로 공급되고 있는데 수영강 중류의 수생태계 건강성 확보를 위해서는 유지용수의 공급이 지속되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

권동민(2008). 다변량분석법을 이용한 수영강수계의 수질 특성평가. *부산광역시보건환경연구원보*, **18**(1), pp. 98-107.

김익수, 박종영(2006). 원색도감 한국의 민물고기, 교학사. 김익수, 최윤, 이충렬, 이용주, 김병직, 김지현(2006). *원색 한국 어류대도감*, 교학사.

원두희(2005). *한국의 수서곤충*.

윤일병(1988). *한국식물도감 제30권 동물편(수서곤충류)*, 문교부.

윤일병(1995). *수서곤충검색도설*.

최기철(2008). *쉽게 찾는 내고향 민물고기*, 현암사.

환경부(2006). *물환경종합평가방법 개발 조사연구(III)*.

환경부(2007a). *수생태계 건강성 조사계획 수립 및 지침*.

환경부(2007b). *수질오염공정시험방법*.

환경부(2008). *수생태건강성조사 및 평가 최종보고서*.

환경부(2009). *쉬리야, 꼬치동자개를 보았나?*

川合禎次(2005). *日本産水生昆虫*.

Merritt and Cummins (1996). *Aquatic Insects of North America*.

Pielou, E. C. (1969). *An introduction to mathematical ecology*. Wiley-Interscience, New York. pp. 165.

Shannon and Weaver (1949). *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana. pp. 251.

McNaughton, S. J. (1967). Relationship among Functional properties of California Grassland. *Nature*, **216**, pp. 168-169.