

## 어류모델 메트릭, 물리적 서식지 변수 및 수질특성 분석에 의한 섬진강의 생태 건강성 진단

이의행 · 최지웅 · 이재훈 · 안광국\*

(충남대학교 생명과학과)

**Ecological Health Diagnosis of Sumjin River using Fish Model Metric, Physical Habitat Parameters, and Water Quality Characteristics. Lee, Eui-Haeng, Ji-Woong Choi, Jae-Hoon Lee and Kwang-Guk An\* (School of Bioscience and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)**

This study was to evaluate ecological health of Sumjin River during April~June 2005. The ecological health assessments was based on the Index of Biological Integrity (IBI), Qualitative Habitat Evaluation Index (QHEI), and water chemistry. For the study, the models of IBI and QHEI were modified as 10 and 11 metric attributes, respectively. We also analyzed spatial patterns of chemical water quality over the period of 2002~2005, using the water chemistry dataset, obtained from the Ministry of Environment, Korea. In Sumjin River, values of IBI averaged 33 (n=12), which is judged as a "Fair~Good" condition after the criteria of Barbour *et al.* (1999). There was a distinct spatial variation. Mean IBI score at Site 5 was estimated as 40, indicating a "Good" condition whereas, the mean at Site 3 was 23, indicating a "Poor~Fair" condition. Habitat analysis showed that QHEI values in the river averaged 109 (n=6), indicating a "Marginal" condition after the criteria of Barbour *et al.* (1999). Values of BOD and COD averaged  $1.3 \text{ mg L}^{-1}$  (scope:  $0.9 \sim 1.8 \text{ mg L}^{-1}$ ) and  $3.3 \text{ mg L}^{-1}$  (scope:  $2.8 \sim 4.0 \text{ mg L}^{-1}$ ), respectively during the study. It was evident that chemical pollutions by organic matter were minor in the river. Total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) averaged  $2.5 \text{ mg L}^{-1}$  and  $0.067 \text{ mg L}^{-1}$ , respectively, and the nutrients did not show large longitudinal gradients between the upper and lower reach. Overall, dataset of IBI, QHEI, and water chemistry suggest that river health has been well maintained, compared to other major watersheds in Korea and should be protected from habitat disturbance and chemical pollutions.

**Key words :** ecological health, habitat, fish, trophic guild, water quality

### 서 론

섬진강 수계는 전라북도, 전라남도 및 경상남도에 걸쳐 흐르는 국내 5대강 수계 중의 하나로서 그 중 유일하게 하구둑이 없고, 오염원이 가장 적어 이·화학적 수질 및

수생태계가 가장 잘 보호된 수체로 알려져 있다(김 등, 2002). 이러한 이유로 섬진강은 주민 생활에 필요한 음용수, 생활용수 및 인근 지역의 농업용수 공급원으로서 유용하게 이용되고 있다. 그러나 최근 들어 섬진강 본류와 지류 주변의 인구 밀집지역, 농경지, 목장 등에서 생활하수 및 농·축산 오수 유입량이 증가하면서 부영양화 현

\* Corresponding author: Tel: 042) 821-6408, Fax: 042) 822-9690, E-mail: kgan@cnu.ac.kr

상이 가속화되고 있고(이 등, 2000), 광양만 지역 공단에서는 공장 폐수 및 생활하수가 대량으로 유입되어 하류부의 수질오염이 가속화되고 있다.

수환경 오염 및 교란현상은 단지 섬진강 수계에서 뿐만 아니라 우리나라의 한강(신 등, 2000), 금강(김, 2006), 낙동강(정 등, 2004) 및 영산강 수계(양과 최, 2003)에서 널리 보고되고 있다. 정부에서는 이런 문제점을 해결하기 위해 최근 수질오염총량제(TMDL)를 4대강 수계에 적용하고 있으며, 환경부에서는 생태계의 건강성 및 생물학적 교란 현상을 파악하기 위해 2003년부터 2006년 10월까지 “물환경종합평가방법 개발 조사연구(환경부, 2004)”를 통해 대대적으로 수계 모니터링 표준화 모델 개발 및 수생생물을 이용한 생태계 건강성 평가방법을 개발하였다. 따라서 수생태계의 현재 상태를 파악하기 위해서는 모델의 현장 적용 및 그에 의한 수계의 건강성 평가가 수행되어야 한다.

섬진강 수계에서 주류를 이루어온 연구는 이·화학적 수질 및 수리·수문학적 연구로서 안(2005), 양과 최(2003)의 연구를 들 수 있다. 이·화학적 접근방식은 측정 당시의 순간적인 수질상태를 나타낼 뿐만 아니라 측정시간, 장소, 기상상태 및 측정자의 숙련도 등 여러 요인에 따라 변이가 크게 나타나고, 수중에 많은 오염 요소 중 몇 가지 항목의 측정만으로 하천의 건강성을 대표할 수 없어 종합적인 평가를 하기에는 한계가 있다. 한편, 생물조사의 경우도 수환경내의 부착조류(이 등, 2000), 동물플랑크톤(유와 이, 2003), 어류(김 등, 2002) 등의 생물분류군을 이용한 종 특성, 분포현황, 군집분석 등에 대한 연구가 주류를 이루어왔다. 최근에는 이런 수체의 특성에 대한 이·화학적 변이를 감소시키며, 수환경내 수체 특성을 잘 반영할 수 있는 수생생물의 특정 분류군의 다양한 생태 지표종 속성 분석(공, 2002) 및 지표종의 독성평가(박 등, 2004)를 통한 생태 위해성 평가 방법의 중요성이 강조되고 있다(조 등, 2004).

수계 내에서 다양한 생물분류군을 이용한 모델로서 부착조류(황 등, 2006), 저서성 대형무척추동물(원 등, 2006) 및 어류(안 등, 2006)가 문헌에 소개되고 있다. 특히, 이런 다양한 생물 지표 분류군 중, 어류는 하천생태계 최종소비자이며 수생태계의 수질오염을 잘 반영하기 때문에(Barbour *et al.*, 1999) 수중 생태계 건강성 평가에 널리 이용되고 있다. 어류의 다변수 건강성 평가 모델을 이용한 생태학적 건강성 평가에 대한 연구는 갑천(배와 안, 2006), 평창강(안 등, 2001), 금호강(염 등, 2000) 등 같이 다양하게 적용된 바 있으나 섬진강에서는 전무한 실정이다. 본 연구에서는 최초로 다변수 건강성 평가 지

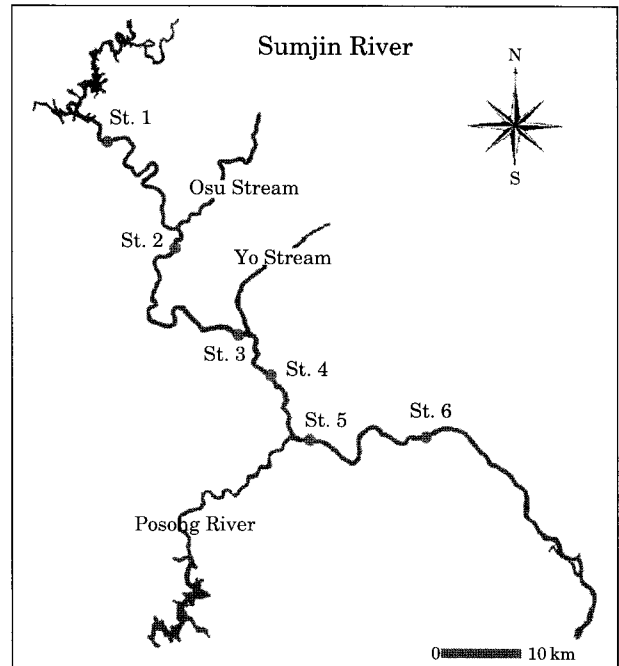


Fig. 1. Sampling sites in Sumjin River.

수인 생물통합지수를 섬진강에 적용하여 생태 건강성을 평가하고, 얻어진 값을 이·화학적 수질 특성 및 서식지 특성과 비교·평가하여 섬진강 수계의 하천생태계 특성을 총체적으로 파악하는데 있다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지점 및 조사시기

본 연구에서는 우리나라 5대강 수계 중 하나인, 섬진강 수계의 6개 지점(Fig. 1)을 선정하여 1차 조사는 하천 내 유지유량이 감소되어 물 환경 및 수질특성을 잘 반영하고 어류가 본격적으로 출연하는 시기인 2005년 4월 16~17일에 실시하였고, 2차 조사는 장마가 시작하기 전으로서 수체가 수리·수문학적으로 안정된 시기인 2005년 6월 11~12일에 실시하였다. 각 지점에서 물리적 서식지 평가 및 어류 현장 채집을 실시하였고, 조사지점은 Strahler (1957)의 하천차수(Stream order) 기준에 의거할 때, 지점 1은 1차 하천, 지점 2는 4차 하천, 지점 3은 5차 하천, 지점 4, 5, 6은 6차 하천으로 나타났으며, 조사지점은 Fig. 1과 같다.

### 2. 조사방법

본 조사는 수생태계의 정량적인 건강성 평가를 위해

개발된 Ohio EPA (1989)의 Wading method를 수정·적용한 안 등(2001)의 방법에 의거하였다. 어류 채집은 여울(Riffle), 소(Pool), 유속이 느린 구간(Run)이 존재하는 개방된 곳에서 투망(망목 5×5 mm)을 이용하였으며, 하상에 바위가 주류를 이루고 유속이 빠른 곳 및 수초 우점지역에서는 족대(망목 4×4 mm)를 이용하였다. 또한, 상기의 다양한 서식지에 대해 어류채집용 전기 충격기(12 V, 24 A)를 이용하였다. 채집거리는 각 조사지점에서 상·하류로 100 m 구간에서 50분 동안 실시하였다. 각 지점에서 채집된 어류는 Nelson (1994)의 분류체계를 따랐고, 김 등(2005), 김과 박(2002)에 의거해 동정하였다.

3. 다변수 건강성 평가 및 정성적 서식지 평가

채집 자료를 바탕으로 한 다변수 건강성 평가 모델(Multi-metric health assessment model)의 지수산정은 Barbour et al. (1999)과 U.S. EPA (1993)에 의거하였고, 안 등(2005)에 의하여 국내 환경에 맞게 수정·보완된 10개 다변수 건강성 평가 지수인 생물통합지수(Index of Biological Integrity, IBI)를 이용하였다. M<sub>1</sub>: 총 토종수(Total number of native species), M<sub>2</sub>: 여울성 저서종수(Number of riffle-benthic species), M<sub>3</sub>: 민감종수(Number of sensitive species), M<sub>4</sub>: 내성종의 개체수비도(Proportion of tolerant species), M<sub>5</sub>: 잡식성 어종의 상대비도(Proportion as a number of omnivore species), M<sub>6</sub>: 본토 총식성 어종의 상대비도(Proportion as a number of insectivore species), M<sub>7</sub>: 본토 육식성 어종의 상대비도(Proportion as a number of carnivore species), M<sub>8</sub>: 총 개체수(Total number of individual), M<sub>9</sub>: 외래종 상대비도(Proportion as a number of exotic species), M<sub>10</sub>: 개체의 비정상도 비도(Proportion as a number of abnormal individual)의 총 10개 메트릭에 대해 각각 “5”, “3”, “1”의 점수를 부여한 뒤 각 메트릭 값을 산정하였다. 이를 이용해 얻은 모델값은 최적상태(Excellent, 50~46), 양호상태(Good, 40~36), 보통상태(Fair, 30~26), 약화상태(Poor, 20~16), 최악상태(Very Poor, ≤10)의 5개 등급으로 각각 구분하여 생태 건강성을 평가하였다.

정성적 서식지 평가 지수(Qualitative Habitat Evaluation Index, QHED)의 산정은 안과 김(2005)에 의하여 국내 하천 특성에 맞게 보완된 11개의 다변수 메트릭 모델을 이용하였고, 각 변수값의 등급구분은 U.S. EPA (1993)의 기준에 의거하여 각 메트릭으로부터 얻어진 값의 합을 최종적으로 최적상태(Optimal, 220~182), 양호상태(Suboptimal, 168~124), 일부훼손상태(Marginal, 110

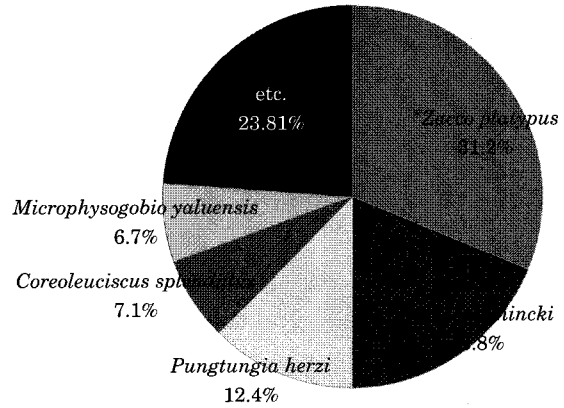


Fig. 2. Relative abundance, based on the number of fish individuals, in Sumjin River. The dominant species was expressed as more than 5% of the total individuals.

~66), 약화상태(Poor, 52~8)의 4개 등급으로 각각 구분하였다.

4. 이·화학적 수질 분석 및 통계 분석

본 연구에서 이용된 이·화학적 수질 변수는 생화학적 산소요구량(Biochemical oxygen demand, BOD), 화학적 산소요구량(Chemical oxygen demand, COD), 총인(Total phosphorus, TP), 총질소(Total nitrogen, TN), 전기전도도(Electric conductivity, EC, 25°C), 부유물질(Suspended solid, SS)로서 섬진강 수계의 환경부 측정망 지점 자료 중 2002년부터 2005년까지 4년간 측정된 자료를 이용하여 조사 지점별 특성을 분석하였으며, 이·화학적 수질등급 기준은 2007년 1월에 환경부에 고시된 7등급 기준체계에 의거하였다. 생물학적 건강도, 물리적 서식지 및 수질자료의 회귀분석은 SPSS (2004, Version 12.0 KO for windows) 프로그램을 이용하여 실시하였다.

결 과

1. 종 출현 특성 및 트로픽 길드 분석

1차 및 2차 어류조사에서 각각 33종(1,662개체), 31종(1,543개체)이 채집되어 조사시기별로 큰 차이를 보이지 않았다. 내성종이면서 잡식성 어종인 피라미(*Zacco platypus*)가 약 31%로 우점하였고, 민감종이면서 총식성 어종인 갈겨니(*Zacco temmincki*)는 19%로 아우점종으로 나타났다(Fig. 2). 내성도(Tolerance guild) 분석에 의하면,

**Table 1.** The Index of Biological Integrity (IBI), based on 10 metric models after Karr (1981) and Barbour *et al.* (1999) in Sumjin River.

Sampling site	TNS	RBS	SS	TS	OS	IS	CS	TNI	XT	AI	IBI (Criteria)	
1st survey	St. 1	8 (5)	3 (5)	4 (5)	82 (1)	86 (1)	14 (1)	0 (1)	376 (5)	0 (5)	0 (5)	34 (II~III)
	St. 2	10 (3)	2 (1)	5 (3)	54 (1)	60 (1)	31 (3)	6 (5)	35 (1)	0 (5)	0 (5)	28 (II)
	St. 3	6 (1)	3 (1)	3 (1)	77 (1)	86 (1)	14 (1)	0 (1)	77 (1)	0 (5)	0 (5)	18 (IV)
	St. 4	18 (3)	5 (3)	7 (3)	45 (1)	67 (1)	32 (3)	2 (3)	257 (3)	0 (5)	0 (5)	30 (III)
	St. 5	18 (3)	8 (3)	11 (5)	12 (3)	18 (5)	72 (5)	10 (5)	372 (3)	0 (5)	0 (5)	42 (I~II)
	St. 6	19 (5)	8 (3)	11 (5)	31 (1)	44 (3)	51 (5)	3 (3)	545 (5)	0 (5)	0 (5)	40 (II)
2nd survey	St. 1	10 (5)	5 (5)	6 (5)	39 (1)	47 (1)	31 (3)	0 (1)	380 (5)	0 (5)	0 (5)	36 (II)
	St. 2	11 (3)	2 (1)	5 (3)	57 (1)	68 (1)	32 (3)	0 (1)	173 (3)	0 (5)	0 (5)	26 (III)
	St. 3	9 (3)	5 (3)	4 (1)	32 (1)	50 (1)	50 (5)	0 (1)	199 (3)	0 (5)	0 (5)	28 (III)
	St. 4	14 (3)	5 (3)	9 (3)	11 (3)	22 (3)	70 (5)	7 (5)	188 (1)	0 (5)	0 (5)	36 (II)
	St. 5	17 (3)	5 (3)	11 (5)	19 (3)	21 (3)	68 (5)	3 (3)	312 (3)	0 (5)	0 (5)	38 (II)
	St. 6	17 (3)	7 (3)	8 (3)	7 (3)	26 (3)	69 (5)	1 (3)	291 (3)	0 (5)	0 (5)	36 (II)

TNS=Total number of native species, RBS=Number of riffle benthic species, SS=Number of sensitive species, TS=Proportion individuals as tolerant species, OS=Proportion individuals as omnivores, IS=Proportion individuals as native insectivores, CS=Proportion individuals as native carnivores, TNI=Total number of individual, XT=Proportion individuals as exotics, AI=Proportion individuals with anomalies, I=Excellent, II=Good, III=Fair, IV=Poor

민감종 (Sensitive species)은 약 52%, 내성종 (Tolerant species)은 35%로 나타났다 (Table 1). 즉, 하천의 전역에서 수질오염에 쉽게 사라지는 민감종이 우점함으로써 오염이 적은 산간계류형 하천(안 등, 2001)과 유사한 특성을 보였고, 내성종이 우점하는 도심형 하천(염 등, 2000)의 연구결과와 분명한 차이를 보였다. 이런 특성은 트로픽 길드 (Trophic guild) 분석에서도 잘 나타났다. 즉, 잡식성 (Omnivore) 어종은 약 46%, 육식성 (Carnivore) 어종은 약 4%, 충식성 (Insectivore) 어종은 약 49%로 나타나 충식성 어종이 우점하는 것으로 나타났다 (Table 1). 지점 1~3은 내성종이 약 40% 이상, 잡식성 어종이 50% 이상 우점하였고, 지점 4~6은 민감종이 50% 이상, 충식성 어종이 40% 이상 우점하는 것으로 나타났다. 한편 외래어종 (Exotic species)은 전혀 출현하지 않았으며, 화학적 독성 물질 및 유기물 오염이 존재하는 곳에서 빈번히 나타나는 비정상개체 (Abnormality, U.S. EPA, 1993)는 전혀 채집되지 않아서 (Table 1), 화학적 오염의 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

지점별 분석에 따르면, 지점 1은 12종 756개체가 채집되었고, 그 중 파리의 비율이 60%로 나타나 전체 지점 중 가장 높은 우점도를 보였으며, 지점 2는 15종이 출현하였고, 개체수 (208개체)는 지점 1보다 3배 이상 감소하는 것으로 나타났으며, 전체 지점 중 가장 적은 개체가 채집되었다. 지점 3은 10종의 어류가 채집되었고, 그 중 민감종은 4종으로 전체 지점에서 가장 적은 종과 민감종이 채집되었다. 지점 4는 21종이 출현하여, 지점 1~3에

서의 종수에 비해 뚜렷하게 증가한 양상을 보였고, 피라미와 갈겨니가 각각 21%와 19%로 우점하는 것으로 나타났다. 지점 5에서는 지점 4와 동일하게 21종이 출현하였고, 그 중 민감종은 12종으로 전체 지점에서 가장 많이 채집되었으며, 갈겨니가 26%로 우점하였고, 돌고기 (*Pungtungia herzi*)가 19%로 아우점하는 것으로 보아서 식지가 잘 보존된 것으로 판단되었다. 최하류역 (지점 6)은 지점 5와 유사한 양상을 보였으며, 전체 종 중 45% 이상이 여울성 저서종 (Riffle-benthic species)으로 나타났으며, 전체 지점에서 가장 많은 종수 및 개체수를 보였고, 민감종수도 최고치를 보여 상류지점들에 비해 종 다양도가 뚜렷하게 높게 나타났다. 또한 전체 지점에 대한 상대 우점도 분석에 따르면, 쉬리, 돌고기 및 갈겨니는 주요 우점종으로 나타났으며, 이들은 전체 어류의 45%를 차지하여 민감종이 단연 우점하는 것으로 나타났다 (Fig. 2, Table 1). 상기의 결과를 종합해 보면, 섬진강 어류분포는 상류로부터 하류에 이르기까지의 여울성 저서종이 우점하고 또한 수질오염에 사라지기 쉬운 민감종이 우점하는 것으로 나타나 종의 지표특성 면에서 하천의 건강성이 잘 유지되는 것으로 사료되었다.

## 2. 다변수 건강성 평가

섬진강에서 채집된 어류를 이용하여 다변수 건강성 평가 지수를 산정하였고, 얻어진 자료를 U.S. EPA (1993)의 등급 평가기준에 의거하여 구분한 결과는 Table 1과 같

다. 섬진강의 다변수 건강성 지수는 33 (n=12)으로서, Barbour *et al.* (1999)의 등급기준에 의하면 “보통~양호 상태”로 판명되었다. 또한, 1차 및 2차 조사 시 건강성 지수의 평균값은 각각 32 (n=6)와 33 (n=6)으로서 조사시기별 변이를 보이지 않았다. 한편 섬진강의 1차 및 2차 조사지점별 특성 분석에 따르면, 지점 1은 각각 34, 36으로 “보통~양호상태”에서 “양호상태”로 변했고, 지점 2는 각각 28, 26으로 두 시기 모두 “보통상태”로 판정되었다. 한편, 지점 3은 각각 18과 28로 “악화상태”와 “보통상태”로 나타나, 전체 지점 중 조사시기별 차이가 가장 뚜렷하였으며, 평균 건강성 지수값은 23 (n=12)으로서 “악화~보통상태”로 나타나, 전체 지점 중 생태 건강성이 가장 좋지 않은 것으로 나타났다. 지점 4는 각각 30과 36로 “보통상태”에서 “양호상태”로 상승하였고, 지점 5는 각각 42와 38로 “양호~최적상태”와 “양호상태”로 나타나 평균 40 “양호상태”로 전체 지점에서 가장 좋은 지점으로 나타났으며, 지점 6은 각각 40과 36으로 “양호상태”로 나타났다. 전체적으로 지점 2, 5, 6은 1차 조사의 건강성이 높게 나타났고, 지점 1, 3, 4는 2차 조사의 건강성이 일부 높게 나타났으나 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 3).

3. 정성적 서식지 평가

지점 1은 섬진강댐 하부에 위치한 계류성 자연하천으로 정성적 서식지 평가 지수(Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI)값은 128로서, Barbour *et al.* (1999)의 기준에 따르면 서식지 건강성은 “양호상태”로 나타났다(Fig. 3). 본 지점은 수변의 식생피복이 양호하였고, 토지이용도는 주로 산림으로 구성되어 유기물이나 퇴적물 침적이 거의 없었으며, 하상구조는 주로 바위, 자갈이 우점하여 양호한 서식지 상태를 보였다. 지점 2는 평지형 자연하천으로 QHEI 값은 108로서, 서식지 건강성은 “일부훼손상태”로 나타났다(Fig. 3). 이런 특성은 본 지점에서 수변식생 피복이 양호하나 주변이 일부 산림 및 일부 논밭으로 구성되어 토지이용도가 물리적 서식지에 영향을 주는 것으로 나타났고, 다리의 교각 공사로 인한 일부 모래침적의 영향이 모델의 결과에 영향을 미쳤을 것으로 사료되었다. 반면, 지점 3은 유량이 풍부한 대형 자연하천으로 QHEI 값은 54로서, 서식지 건강성은 “악화~일부훼손상태”로 나타나 전체 지점에서 가장 악화된 서식지 상태를 보였다(Fig. 3). 이런 특성은 본 지점에서 수변 식생 피복도가 높으나, 주요 토지이용도 측면에서 산림이 전혀 없고, 주로 논밭으로 구성되어 토사, 실트 유입 및 유기물 침적 현상이 두드러지게 나타나 서식지가 악화되

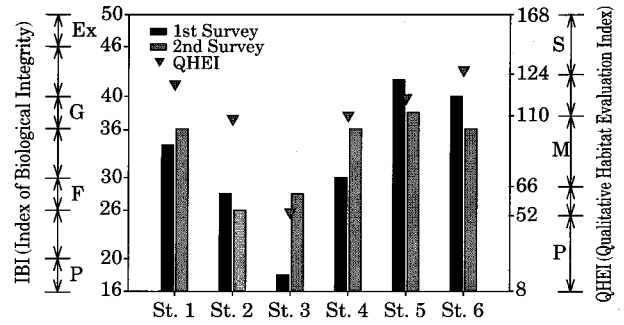
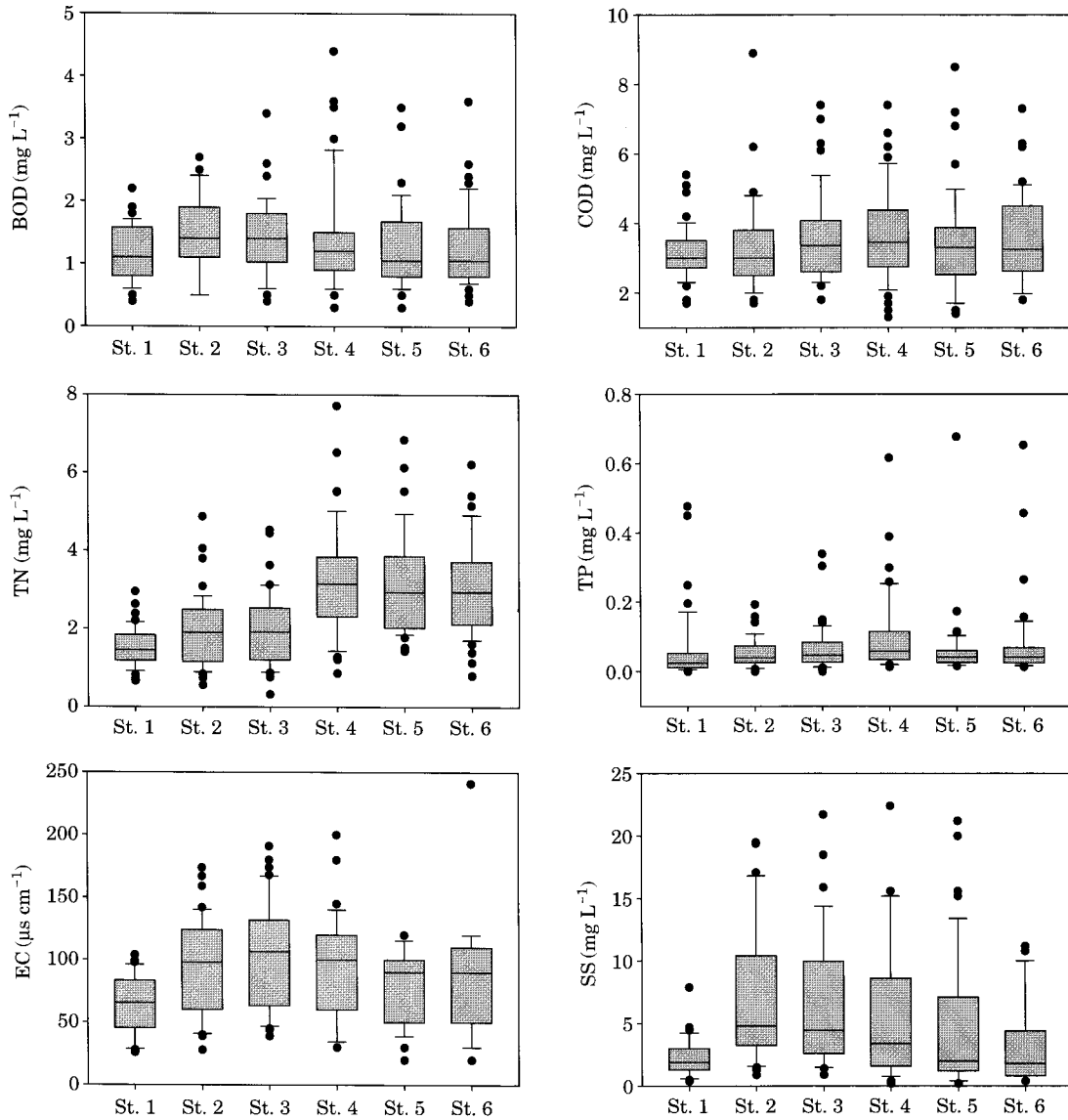


Fig. 3. Index of biological integrity (IBI) and Qualitative Habitat Evaluation Index (QHEI) in Sumjin River. The abbreviations are as follows: Excellent=Ex, Good=G, Fair=F, Poor=P, Suboptimal=S, and Marginal=M.

는 것으로 나타났다. 지점 4는 인공제방으로 된 대형 자연하천으로 QHEI 값은 110으로서, 서식지 건강성은 “일부훼손상태”로 나타났다(Fig. 3). 이런 서식지 특성은 본 지점에서 주변은 농촌지역이고, 하상은 자갈이 대부분 분포하지만 유량이 적어 60% 이상 물 밖으로 드러나 있었으며, 각종 토목공사로 인한 하상에 유기물 침적이 심해 서식지에 영향을 주는 것으로 나타났다. 지점 5는 평지형 자연하천으로 QHEI 값은 120으로서, 본 지점은 토지 이용도 면에서 논이 대부분이고, 일부 밭과 도로가 영향을 주고 있으나, 유량이 풍부하고, 수변의 식생피복이 매우 발달하였으며, 하상은 자갈과 수초로 이루어져 서식지 건강성은 “일부훼손~양호상태”로 나타났다 (Fig. 3). 평지형 자연하천인 지점 6의 QHEI 값은 136으로서, 본 지점은 수변의 식생피복이 최적이고, 하상은 자갈로 구성되었고, 토지이용도는 산림으로 구성되어 서식지 건강성은 최적상태에는 못 미치지만 “양호상태”로 나타나 전체 지점에서 가장 좋은 서식지 상태를 보였다 (Fig. 3).

4. 이 · 화학적 수질

4년간의 자료에 기반을 둔 섬진강의 생화학적 산소요구량(Biochemical oxygen demand, BOD), 화학적 산소요구량(Chemical oxygen demand, COD), 총인(Total phosphorus, TP), 총질소(Total nitrogen, TN), 전기전도도(Electric conductivity, EC, 25°C), 부유물질(Suspended solid, SS)은 지점별로 뚜렷한 변이양상을 보여주었다(Fig. 4). 지난 4년간 평균 BOD 값은 1.3 mg L<sup>-1</sup>로서 우리나라 수질기준(2007년 1월의 환경부 기준고시)에 의거할 때 Ib(좋음) 등급을 보였고, 0.9~1.8 mg L<sup>-1</sup>의 좁은 변이폭을 보였다. COD 역시 큰 변이를 보이지 않았으며



**Fig. 4.** Biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), total phosphorus (TP), total nitrogen (TN), electric conductivity (EC), and suspended solids (SS) in Sumjin River.

(2.8~4.0 mg L<sup>-1</sup>), BOD와 유사한 경향을 보였다(Fig. 4).

TN의 평균값은 2.5 mg L<sup>-1</sup>(범위: 1.4~3.8 mg L<sup>-1</sup>)이고 상·하류간의 각 지점별로 약간의 변동이 있으나 비슷한 값을 보였다. 하지만 지점 4에서 TN이 증가하는데, 이는 남원시를 지나는 요천의 합류에 의한 생활하수와 농업용수의 유입에 의한 것으로 사료되었다(안, 2005). TP의 평균값은 0.067 mg L<sup>-1</sup>(범위: 0.027~0.173 mg L<sup>-1</sup>)이고 각 지점별로 TN과 비슷한 양상을 보였으며, 지점 4에서 증가하였다(Fig. 4).

EC(범위: 40~133 μs cm<sup>-1</sup>)와 SS(범위: 1.4~10.8 mg

L<sup>-1</sup>) 경우 지점 2에서 증가하는데 이는 섬진강 본류로 유입되는 오수천 주변 농공단지의 농업용수와 분뇨처리장 처리수의 영향과 조사 당시 공사의 영향으로 사료되었다. 하류부인 지점 6으로 갈수록 하천 폭과 유량의 증가로 EC와 SS가 서서히 감소하는 경향을 보여 점차적인 수질향상을 보였다(Fig. 4).

## 고 찰

어류의 다변수 건강성 평가 모델분석에 따르면, 섬진강

의 다변수 건강성 평가 지수인 IBI 평균값은 33 (n=12, 범위: 18~42)으로서 U.S. EPA (1993) 및 Karr (1981)가 제시한 기준에 의거할 때 하천 건강성은 “보통~양호상태”로 나타났다 (Table 1). 정성적 서식지 평가 지수인 QHEI 분석에 따르면, 평균값은 109 (범위: 54~136)로서 서식지 건강성은 “일부훼손상태”를 보였다 (Fig. 3). BOD 분석자료에 의거한 이·화학적 수질상태는 우리나라 수질기준 (2007년 1월의 환경부 기준고시)에 의거할 때 Ib (중음) 등급으로 나타났다 (Fig. 4).

U.S. EPA (1993)에 따르면 하류로 갈수록 하천차수 및 하천오염원의 증가에 의해 건강성이 낮아지는 것이 일반적이나, 지점 2, 3을 제외한 전체 지점에서 상·하류간의 건강성 차이가 크지 않고, 오히려 1차 하천인 지점 1보다 6차 하천인 지점 4~6에서 건강성이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 인위적 교란으로 인한 서식지 건강성의 악화가 IBI 값에 영향을 미친 것으로 사료되었다 (Fig. 3). IBI 값이 낮게 나타난 지점 2의 경우 조사 시 시행된 대형 교각공사가 영향을 미친 것으로 사료되었고, 가장 낮은 IBI 값을 보인 지점 3의 경우 조사 당시 시행된 하상공사로 인해 물리적 서식지에 교란이 일어나 가장 적은 종(10종) 및 민감종(4종)이 채집되어 “악화~보통상태”의 건강성을 나타냈다 (Table 1). 회귀분석 결과, 생물학적 건강성 지수인 IBI 값은 서식지 건강성 지수인 QHEI 값과 정상관관계 ( $\text{Log}_{10}(\text{IBI})=0.542 \text{Log}_{10}(\text{QHEI})+0.412$ ,  $R^2=0.738$ ,  $p=0.028$ ,  $n=6$ )를 보여 생물학적 건강성은 서식지 건강성을 잘 반영하는 것으로 나타났다 (Table 2). 이·화학적 수질은 각 지점별로 큰 변이를 보이지 않았으며, BOD의 경우 IBI와 역상관관계 ( $\text{Log}_{10}(\text{IBI})=-2.353 \text{Log}_{10}(\text{BOD})+1.788$ ,  $R^2=0.727$ ,  $p=0.031$ ,  $n=6$ )를 나타내어 BOD가 IBI 값에 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 섬진강의 BOD는 평균  $2 \text{mg L}^{-1}$  이하로 Ib(중음) 등급의 비교적 양호한 수질 상태를 보여, 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료되었다 (Fig. 4).

섬진강의 생물학적 건강성 평가 지수는 평균 33(범위: 18~42)으로서 생물학적 건강성, 서식지 건강성, 이·화학적 수질의 모든 측면에서 초강(안과 최, 2006)과 유사한 패턴을 보였으나, 일부지점(지점 2, 3)은 평균 25를 기록하여 다른 지점과 비교하여 악화된 상태를 보였다. 이는 교란 및 오염이 산재한 도심하천인 금호강(염 등, 2000), 갑천(배와 안, 2006), 대전천(안과 김, 2005)과 유사한 양상을 보여 하천에 유입되는 점오염원과 물리적 서식지의 교란에 의한 결과로 사료되었다.

본 연구에서 산정된 생물학적 건강성 평가 지수, 서식지 건강성 및 이·화학적 수질 분석에 따르면, 섬진강의

**Table 2.** Regression analyses of  $\text{log}_{10}(\text{IBI})$  on the  $\text{log}_{10}(\text{QHEI})$ ,  $\text{log}_{10}(\text{BOD})$ ,  $\text{log}_{10}(\text{COD})$ ,  $\text{log}_{10}(\text{SS})$ ,  $\text{log}_{10}(\text{TN})$ , and  $\text{log}_{10}(\text{TP})$  in Sumjin River (n=6). The asterisk indicates a significance in the 95% confidence interval.

Variables	p-value	R <sub>2</sub>	Regression equation
IBI vs QHEI	0.028*	0.738	$\text{Log}_{10}(\text{IBI})=0.542 \text{Log}_{10}(\text{QHEI})+0.412$
IBI vs BOD	0.031*	0.727	$\text{Log}_{10}(\text{IBI})=-2.353 \text{Log}_{10}(\text{BOD})+1.788$
IBI vs COD	0.514	0.113	$\text{Log}_{10}(\text{IBI})=1.067 \text{Log}_{10}(\text{COD})+0.946$
IBI vs EC	0.140	0.458	$\text{Log}_{10}(\text{IBI})=-0.852 \text{Log}_{10}(\text{EC})+3.153$
IBI vs SS	0.288	0.288	$\text{Log}_{10}(\text{IBI})=-0.270 \text{Log}_{10}(\text{SS})+1.693$
IBI vs TN	0.281	0.279	$\text{Log}_{10}(\text{IBI})=0.426 \text{Log}_{10}(\text{TN})+1.343$
IBI vs TP	0.811	0.016	$\text{Log}_{10}(\text{IBI})=0.114 \text{Log}_{10}(\text{TP})+1.643s$

수환경은 5대강 수계 중 어류가 서식함에 있어 가장 적합한 상태이나, 지점 2, 3에서 볼 수 있듯이, 물리적 요인에 의한 서식지 악화로 인하여 다변수 건강성 평가 지수가 낮아지는 것을 볼 수 있다. 다음과 같은 결과로 볼 때, 하천의 건강성 평가를 위해서는 생물학적 건강성 평가 지수와 이·화학적 수질뿐만 아니라, 인위적 교란으로 인한 물리적 서식지 파괴 또한 고려해야 할 것으로 사료되었다.

## 적 요

본 연구는 국내 5대강 수계 중 하나인 섬진강 수계의 6개 지점을 선정하여 수체 안정기인 2005년 4월과 6월, 2회에 걸친 조사를 실시하여 섬진강의 생태 건강성을 진단하였다. 생물통합지수(Index of Biological Integrity, IBI) 모델 분석은 국내 특성에 맞게 수정·보완된 10개 다변수 메트릭 모델(Multimetric model)을 이용하였고, 정성적 서식지 평가 지수(Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI) 분석은 국내 하천 특성에 맞게 변형한 11개의 다변수 메트릭 모델을 적용하였으며, 이·화학적 수질 분석은 섬진강 수계의 환경부 측정망 지점 자료 중, 2002년부터 2005년까지 4년간 측정된 자료를 이용하였다. 섬진강의 생물통합지수는 33 (n=12)로서 “보통~양호상태”(Fair~Good)로 나타났다. 지점별 모델값은 지점 5에서 40 “양호상태”(Good)로 생물통합지수가 가장 양호한 지점으로 나타난 반면에 지점 3은 23 “악화~보통상

태”(Poor~Fair)로 생물통합지수가 가장 악화된 지점으로 나타났다. 서식지 건강성 지수는 평균 109 (n=6)으로 “일부훼손상태”(Marginal)로 나타났으며, 지점별 모델값은 지점 6에서 136으로 “양호상태”(Suboptimal), 지점 3은 54로서 “악화~일부훼손상태”(Poor~Marginal)로 나타났다. 이·화학적 수질자료의 지점별 분석에 따르면, 지난 4년간 평균 BOD와 COD 값은 각각 1.3 mg L<sup>-1</sup>(범위: 0.9~1.8 mg L<sup>-1</sup>)과 3.3 mg L<sup>-1</sup>(범위: 2.8~4.0 mg L<sup>-1</sup>)로 나타나 유기물에 의한 화학적 오염은 적은 것으로 나타났다. TN과 TP의 평균값은 각각 2.5 mg L<sup>-1</sup>과 0.067 mg L<sup>-1</sup>로 나타나 영양염류는 상·하류간 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 본 연구에서 산정된 생물통합지수와 정성적 서식지 평가, 이·화학적 수질 분석에 따르면, 섬진강의 수환경은 5대강 수계 중 어류가 서식함에 있어 가장 적합한 상태인 것으로 나타나, 서식지 교란과 화학적 오염으로부터 계속적으로 보호되어야 할 것으로 사료되었다.

인 용 문 헌

공동수. 2002. 생물학적 수질기준 설정 필요성 및 접근방안. 환경생물 20(Special Issue): 38-49.  
 김건하. 2006. 금강유역 비점원에서 발생하는 미생물 오염 및 수질에 대한 영향. 한국물환경학회지 22(3): 504-512.  
 김성호, 윤창호, 주현수. 2002. 섬진강 수계의 곡성군 어류상. 환경생물 20(2): 152-157.  
 김익수, 박종영. 2002. 한국의 민물고기, 교학사.  
 김익수, 최윤, 이충렬, 이용주, 김병직, 김지현. 2005. 원색 한국 어류대도감. 교학사.  
 박종호, 이상일, 조영욱. 2004. Ceriodaphnia dubia의 먹이섭생 기작과 온도조절에 근거한 급성독성조사법의 비교. 한국환경학회지 20(1): 48-54.  
 배대열, 안광국. 2006. 생물학적 다변수 모델 적용 및 수화학 분석에 의거한 갑천생태계 평가. 육수지 39(2): 198-208  
 신재기, 조주래, 황순진, 조경제. 2000. 경안천~팔당호의 부영양화와 수질오염 특성. 육수지 33(4): 387-394.  
 안건상. 2005. 섬진강 최상류인 요천의 수질오염. 한국지구과학회지 26(8): 821-827.  
 안광국, 김자현. 2005. 물리적 서식지평가기법 및 어류 다변수 평가모델에 의거한 대전천의 생태학적 건강도 진단. 육수지 38(3): 361-371.  
 안광국, 이재연, 장하나. 2005. 유등천에서의 생태학적 건강도 평가 및 수질양상. 육수지 38(3): 341-351.  
 안광국, 이재연, 배대열, 김자현, 황순진, 원두희, 이재관, 김창수. 2006. 우리나라 주요하천 수계에서 다변수모델을 이용한 생태학적 수환경 평가. 한국물환경학회지 22(5): 796-804.

안광국, 정승현, 최신석. 2001. 생물보전지수(Index of Biological Integrity) 및 서식지 평가지수(Qualitative Habitat Evaluation Index)를 이용한 평창강의 수환경 평가. 육수지 34(3): 153-165.  
 안광국, 최지웅. 2006. 초강의 통합적 생태건강성 평가. 육수지 39(3): 320-330.  
 양해근, 최희철. 2003. 영산강과 섬진강 유역의 하천 수질환경 평가. 대한지리학회지 38(1): 16-31.  
 엄동혁, 안광국, 홍영표, 이성구. 2000. 어류군집을 이용한 금호강의 생물보전지수(Index of Biological Integrity, IBI) 평가. 환경생물 18(2): 215-226.  
 원두희, 전영철, 권순직, 황순진, 안광국, 이재관. 2006. 저서성 대형무척추동물을 이용한 한국오수생물지수의 개발과 생물학적 하천환경평가 적용. 한국물환경학회지 22(5): 768-783.  
 유형빈, 이관식. 2003. 섬진강 상류수계의 동물플랑크톤 군집에 관한 연구. 환경과학연구지 12: 1-8.  
 이경보, 김백호, 이덕배, 김재덕, 최민규. 2000. 섬진강 수계 수질과 부착조류에 대한 생태학적 연구. 한국환경농학회지 19(4): 276-283.  
 정용준, 남광현, 민경석. 2004. 낙동강 소유역 경지에서의 비점오염원 물질 발생 및 배출 특성. 한국물환경학회지 20(4): 333-338.  
 조규석, 박종호, 강주찬. 2004. 수은, 납 및 구리에 대한 붕어와 돌고기 자어의 급성독성. 한국물환경학회지 20(3): 265-268  
 환경부. 2004. 물환경종합평가방법 개발 조사연구 (I). p. 321-344.  
 황순진, 김난영, 원두희, 안광국, 이재관, 김창수. 2006. 돌말(Epilithic Diatom) 지수를 이용한 국내 주요 하천(금강, 영산강, 섬진강)의 생물학적 수질평가. 한국물환경학회지 22(5): 784-795  
 Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder and J.B. Stribling. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, 2nd Ed, EPA 841-B-99-002. US EPA Office of Water, Washington, D.C., USA.  
 Karr, J.R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. Fisheries 6: 21-27.  
 Nelson, J.S. 1994. Fishes of the world (3th ed.). John Wiley & Sons, New York.  
 Ohio EPA. 1989. Biological criteria for the protection of aquatic life. Vol.III, Standardized biological field sampling and laboratory method for assessing fish and macroinvertebrate communities. U.S.A.  
 SPSS. 2004. SPSS 12.0 KO for windows. Apache software foundation.  
 Strahler, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. American Geophysical Union Transactions 38: 913-920.



U.S. EPA. 1993. Fish field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters. EPA 600-R-92-111. Environmental Monitoring systems Laboratory-cincinnati office of Modeling, Monitoring

systems, and quality assurance Office of Research Development, U.S. EPA, Cincinnati, Ohio 45268, USA.  
(Manuscript received 29 January 2007,  
Revision accepted 14 June 2007)