

## 어류를 이용한 낙동강 수계의 생물학적 수질 평가

최지웅 · 이의행 · 이재훈 · 안광국\*

(충남대학교 생명과학부)

**Biological Water Quality Assessments Using Fish Assemblage in Nakdong River Watershed. Choi, Ji-Woong, Eui-Haeng Lee, Jae-Hoon Lee and Kwang-Guk An\* (School of Bioscience and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)**

The objective of this study was to evaluate biological water quality using fish assemblages in Nakdong River watershed. We selected 6 sites along the main axis of the river and evaluated the Index of Biological Integrity (IBI), Qualitative Habitat Evaluation Index (QHEI) and chemical water quality during July 2004~ March 2005. For the study, we applied the 10 metric IBI model, which was developed for national biological water quality criteria. Nakdong River's IBI value averaged 20.8 (n=14) during the study which means poor biological water quality. Physical habitat health at all sites, based on QHEI model, was measured as 110, indicating fair~good condition. The habitat health varied depending on the locations sampled. Habitat health in sites 1 and 5 was judged as good, while the health in sites 3 and 4 was poor~fair. Especially, we found the metric values of M1~M5, M7, M10 were low in sites 3 and 4 compared to other sites. In these sites, thus, habitat restoration of substrate composition, riffles, and bank vegetation may be necessary. In the mean time, chemical water quality, based on BOD, COD, TSS, and nutrients, had no large spatial and temporal variations. Overall data analysis indicated that site 3 was largely impacted by the polluted-tributary, Keumho River and the downstreams showed better water quality due to the dilution of the polluted river water by Nam River and Hwang River.

**Key words :** biological water quality, habitat health, biological integrity, IBI, Nakdong River

### 서 론

본 연구 대상 수계인 낙동강은 강원도 태백시 함백산(해발 1,537 m)에서 발원하여 총 유로연장 513 km, 유역면적 23,859 km<sup>2</sup>로서 대구광역시와 부산광역시를 포함하여 경상도 중소도시의 주된 상수원 및 농·공업용수로 활용되고 있다(장 등, 2001; 박 등, 2002). 최근 연구에 따르면, 낙동강 수계는 유역이 방대하여 점오염원 및 비점오염원의 통제가 용이하지 않고(정 등, 2004), 강우시 비점오염원의 불명확한 유입으로 인하여 효율적 수질관리

가 어려운 것으로 나타났다(이 등, 2001; 이와 배, 2002). 또한, 최근에는 수체 내 외래종의 급격한 증가로 인하여 수질뿐만 아니라 생태계의 중장기적 관리 대책이 시급한 실정이다.

낙동강 수계에 관한 최근 연구동향에 따르면, 정 등(2004), 송 등(2000), 박 등(2002) 외의 다양한 이화학적 수질 연구가 폭넓게 진행되고 있으며, 장 등(2001), 채 등(1998)에 의한 어류분포, 군집특성, 생태계 변화에 대한 보고가 꾸준히 이루어지고 있다. 또한, 환경부에서 낙동강 수계의 생물학적 교란 현상을 파악하기 위해 2003~2006년까지 “물환경종합평가방법 개발 조사연구(환경

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

부, 2005)”를 통해 대대적으로 수계 모니터링 표준화 모델 개발 및 수생생물을 이용한 생태계 건강도 평가방법을 개발하고 있으며, 4대강 중 하나인 낙동강 수계를 평가한바 있다(안 등, 2006).

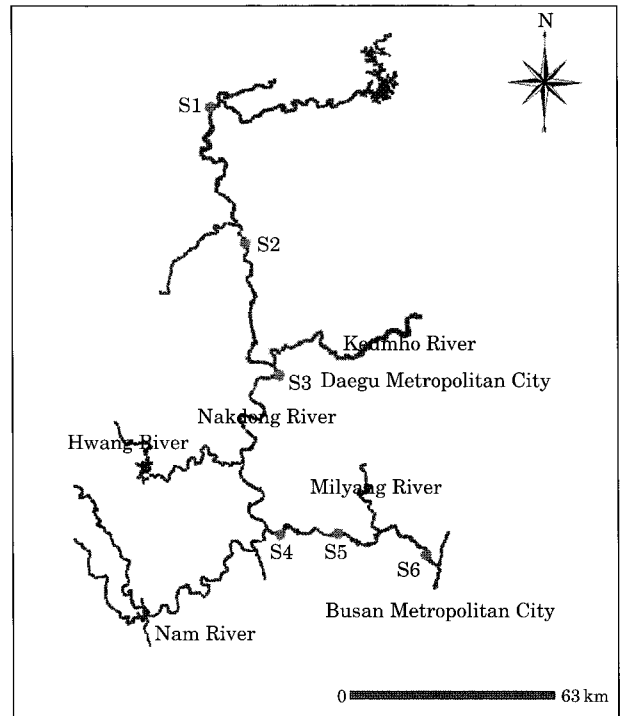
최근 하천 및 호소에 관한 연구 동향은 기존 화학적 측면 뿐 아니라, 각 수계의 물리적 건강상태 및 생물지표종을 이용한 건강도 평가를 병행하는 추세에 있다(안과 김, 2005; 안 등, 2005). 특히, 수생태계 내에서 최상위 소비자에 위치하여 수계의 과거와 현재의 수체건강성을 대표할 수 있는 생물지표종인 어류의 이용도가 높아지고 있다. 어류를 이용한 수계의 건강도 평가는 미국 중서부 지역에서 최초로 Karr (1981)에 의해 제안된 후 미환경부 (US EPA)와 Barbour *et al.* (1999)에 의해 신속한 정량적 평가(Rapid Bioassessment Protocol, RBP) 모델로 정착되어 현재 북미 지역과 유럽 등지에서 널리 이용되고 있는 실정이다(안 등, 2005). 이와 아울러 최근 안 등 (2001a, b)의 연구에 따르면, 물리적 교란은 수계의 오염에 직간접적으로 영향을 주며, 하천 구조 및 서식장소의 교란은 화학적 수질오염 뿐 아니라 생물학적 건강도 악화에도 큰 영향을 끼치는 것으로 평가되고 있다. 물리적 건강도 평가를 위한 서식지평가 정성지수(Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI)는 Plafkin *et al.* (1989)이 최초 제안하였으며, Barbour *et al.* (1999)에 의하여 서식지 평가지수로 재정립 되었고, 우리나라에서는 하천 특성에 맞게 모델 보정이 이루어져 도심하천 연구(안과 김, 2005)에 사용되어 진 바 있다. 따라서 수생태계 평가시 생물학적 수질평가 및 물리적 서식지 건강도 평가의 중요성이 크게 강조되고 있으나 본 연구의 대상 하천인 낙동강 수계에서는 기존 이화학적 수질을 이용한 수환경 평가가 주류를 이루고 있으며 물리적 서식지 및 생물학적 건강도 평가는 전무한 실정에 있다.

본 연구에서는 기존에 주로 수환경평가 시에 이용된 화학적 지표 뿐 아니라 어류의 다변수 모델을 이용한 건강도 평가, 트로픽길드 분석, 내성도 길드 분석을 통한 생물학적 지표평가, 서식지평가 모델 및 매트릭 분석을 통한 물리적 지표에 의거한 생태 건강도를 측정하여 대상 수계인 낙동강의 상·하류 간 건강성을 비교·평가 하고자 한다.

**재료 및 방법**

**1. 조사기간 및 조사지점**

본 연구에서는 낙동강 수계의 본류에 해당하는 6개 지점을 선정하여 2004년 7월(푹수기), 2005년 3월(갈수기)



**Fig. 1.** The sampling sites in Nakdong River.

에 어류조사를 실시하였다. 낙동강 본류의 하천차수는 Horton (1945)과 Strahler (1957)의 기준에 의거할 때, 전 지점이 6차 하천으로 나타났다. 상류지점에 해당하는 1 지점(S1)과 2지점(S2)은 도시외곽에 위치하여 오염물 유입에 의한 영향이 비교적 적은 지점이다. 중류지점에 해당하는 3지점은 인접한 대구광역시를 관류하여 흐르는 금호강과 인근 공단의 영향이 미치는 곳으로, 심각한 오염이 예상되는 지점이다. 중하류에 해당하는 4지점은 낙동강의 한 지류인 남강의 합류에 의해 영향을 받을 것으로 예상되는 지점이다. 하류지점에 해당하는 5지점과 6 지점은 하남공단의 배출수와 분뇨처리시설에 의한 영향이 예상되는 지점이다. 낙동강 수계의 조사지점은 다음과 같다(Fig. 1).

- S1: 경상북도 상주시 사벌면 퇴강리 상풍교
- S2: 경상북도 칠곡군 왜관읍 왜관교
- S3: 경상북도 고령군 성산면 삼대리 고령교
- S4: 경상남도 함안군 칠서면 계내리 남지교
- S5: 경상남도 밀양시 하남읍 수산교
- S6: 경상남도 양산시 물금읍 물금리 수관교

**2. 조사방법 및 분석법**

현장 어류 조사방법은 미환경부 (US EPA, 1993)의

Wading method에 의거하였으며, 국내 하천의 환경특성을 반영하여 수정·보완하여 적용하였다. 기존 200 m 구간 조사거리는 국내 하천규모를 감안하여 100 m 구간으로 새로이 설정 적용하였으며, 채집시간 60분에서 50분으로 감축하여 현장 조사를 실시하였다. 조사구역은 여울(Riffle), 소(Pool), 흐르는 곳(Run)을 모두 포함하였으며, 가능한 한 각 구역별 조사빈도를 균등하게 배분하도록 하였다. 채집도구로는 투망(망목 5×5 mm), 족대(망목 4×4 mm) 및 어류채집용 전기충격기(12 Volt, 24 A)를 이용하였다.

각 지점에서 채집된 어류는 현장에서 분류 및 동정이 가능한 종은 생태 트로픽 길드 및 특성, 그리고 외형손상 유무를 파악 후 바로 놓아 주었으며, 각 현장에서 동정이 불확실한 종은 10% 포르말린 용액에 고정하여 실험실로 옮긴 후 문헌을 통한 정확한 동정 분석(김과 강, 1993; 김, 1997; 김과 박, 2002)을 하였다. 종의 분류는 Nelson(1994)의 분류체계를 따랐다.

### 3. 화학적 자료 분석

낙동강 수계의 화학적 수질상태 분석을 위하여 1995년에서 2005년까지 측정된 환경부의 수질자료를 환경부 홈페이지(www.me.go.kr, 물환경 정보시스템)에서 획득하였고, 현재 환경부에서 측정되고 있는 여러 일반 수질 항목 중 하천의 수질특성을 가장 잘 반영할 수 있는 6개 항목을 선정하였다. 6개 수질항목은 생물화학적 산소요구량(Biochemical oxygen demand, BOD), 화학적 산소요구량(Chemical oxygen demand, COD), 총질소(Total nitrogen, TN), 총인(Total phosphorus, TP), 총부유물(Total suspended solids, TSS), 전기전도도(Electric conductivity at 25°C, EC)이며, 각각 수질값의 지점별 변화양상을 분석하였다.

### 4. 물리적 서식지 평가

물리적 서식지 평가 모델은 Plafkin *et al.* (1989)에 의해 제안되었으며 서식지평가 정성지수(Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI)는 미환경부(US EPA) 및 Barbour *et al.* (1999)에 의해 메트릭 보정이 이루어졌다. 본 연구에 적용된 물리적 서식지 평가모델은 안과 김(2005)에 의해 국내 서식환경에 맞게 새로이 개발된 메트릭 모델을 사용하였다. 물리적 서식지 건강도 평가를 위한 메트릭 모델은 하상구조/서식처 피복도(M<sub>1</sub>: Substrate/instream cover), 하상매몰도(M<sub>2</sub>: Embeddedness), 유속/수심 조합(M<sub>3</sub>: Flow velocity/depth combination), 하

상유실 및 토사축적도(M<sub>4</sub>: Bottom scouring & sediment deposition), 유량 상태(M<sub>5</sub>: Channel flow status), 수로 변경도(M<sub>6</sub>: Channel alteration), 여울 빈도 및 하천굴곡도(M<sub>7</sub>: Frequency of riffles or bends), 제방 안정도(M<sub>8</sub>: Bank stability), 제방식생 보호도(M<sub>9</sub>: Bank vegetative protection), 천변 식생대의 폭(M<sub>10</sub>: Riparian vegetative zone width) 및 소규모 댐의 존재유무(M<sub>11</sub>: Dam construction impact)의 11개 메트릭으로 구성되어 있으며, M<sub>11</sub>은 국내 하천에 설치된 소규모 보의 빈도수를 감안하여 새로이 포함시킨 메트릭에 해당된다. 각 메트릭 변수값의 등급구분은 미환경부(US EPA, 1993)의 기준에 따라 적용하였다.

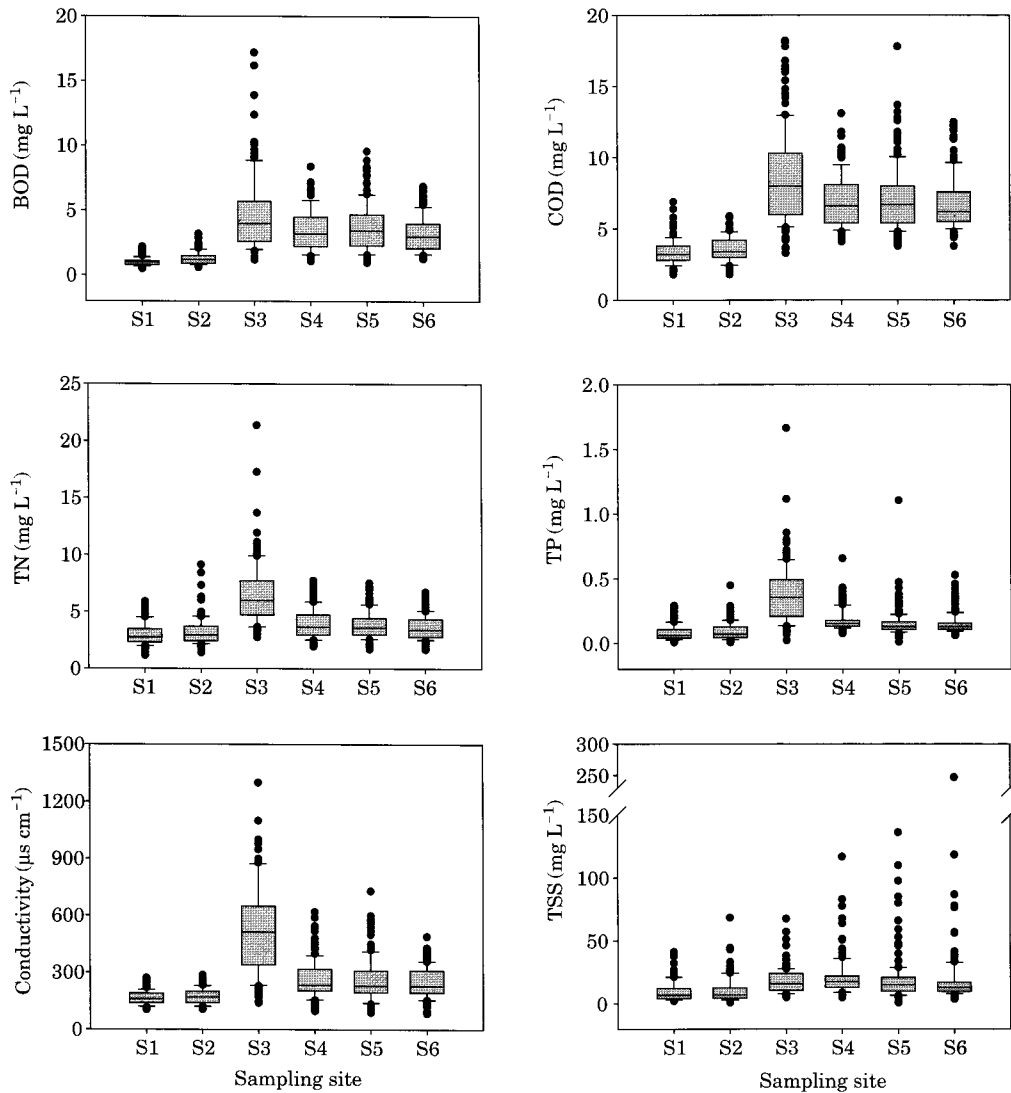
### 5. 생태건강도 다변수 모델 및 메트릭 속성 분석

본 연구에서는 Karr(1981)에 의해 제안되고 미환경부(US EPA) 및 Barbour *et al.* (1999)에 의해 RBP모델로 재정립된 12개 메트릭 모델을 국내 하천의 지역적 특성 및 생태학적 특성에 맞게 수정·보완한 안 등(2001a)의 11개 메트릭 모델 중 10개 평가 메트릭 모델(IBM 모델)을 선정하여 확립하였다. 생태건강도 평가 모델값은 총토종수(Number of native species), 여울성 저서종수(Riffle-benthic species), 민감성 지표종수(Number of sensitive species), 내성 지표종수(Proportion of tolerant species), 잡식성종의 개체빈도(Proportion as a number of omnivore species), 육식성종의 개체빈도(Proportion as a number of carnivore species), 충식성종의 개체빈도(Proportion as a number of insectivore species), 총 개체수(Total number of individual), 외래종 빈도(Proportion as a number of exotic species), 개체 비정상도(Proportion as a number of abnormal individual)의 10개 메트릭에 대해 각각 “5”, “3”, “1”의 점수를 부여하였으며, 각 메트릭의 최종값을 산정하여 최적상태(Excellent, 50~46), 양호상태(Good, 40~36), 보통상태(Fair, 30~26), 악화상태(Poor, 20~16), 최악상태(Very Poor, ≤10)의 5개 등급으로 대별하여 평가하였다.

## 결 과

### 1. 지점별 이화학적 수질상태

생물화학적 산소요구량(BOD)은 상류역(S1, S2)에서 평균 1.2 mg L<sup>-1</sup>로서 수질환경기준(2006년 12월 환경부 고시)의 하천생활환경기준에 따라 Ia 등급과 Ib 등급으로



**Fig. 2.** Spatial variations of biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), total suspended solid (TSS), conductivity, total nitrogen (TN), and total phosphorus (TP).

나타났다. 3지점부터 6지점까지는 모두 평균 3.0 mg L<sup>-1</sup> 이상을 보여 수질환경등급기준 III 등급으로 나타났고 최대치는 18.2 mg L<sup>-1</sup>까지 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 2). 특히 3지점의 생물화학적 산소요구량(BOD)은 2지점보다 2배 정도 증가한 수치를 보였고, 이는 금호강의 유입과 인근에 위치한 분뇨처리시설의 직접적인 영향이 수치 증가의 원인으로 판단되었다. 4지점부터 6지점까지는 3지점에 비하여 수치의 감소를 보이고 있으나, 0.5 mg L<sup>-1</sup> 이하의 변동폭을 보여 3지점에 비하여 큰 수질의 개선효과는 없는 것으로 나타났다. 이는 3지점과 같은 인근 오염원의 유입에 의한 수치의 상승보다는, 수계의 하류역에 위치하여 나타나는 일반적인 생물화학적 산소요구량

값의 상승현상이라 판단되었다. 또한, 화학적 산소요구량(COD)도 상류에서 하류로 갈수록 증가하는 경향을 보여 생물화학적 산소요구량과 유사한 패턴을 보였다(임 등, 1999).

총질소(TN)는 3지점에서 5.0 mg L<sup>-1</sup> 이상을 나타냈고, 나머지 지점에서는 4.0 mg L<sup>-1</sup> 이하로 나타났다(Fig. 2). 1, 2 지점에서 각각 2.9 mg L<sup>-1</sup>, 3.4 mg L<sup>-1</sup>을 보이다 3지점에서 5.3 mg L<sup>-1</sup>으로 급격한 상승을 가져온 이유는 3지점 인근에 위치한 분뇨처리장의 영향이 가장 클 것으로 판단되었으며, 2지점과 3지점 사이에 유입되는 금호강의 영향도 크게 작용한 것으로 사료되었다(이와 이, 1993). 3지점 이후 하류역에 해당하는 4에서 6지점은 1,

2지점에 비하여  $1.0 \sim 1.5 \text{ mg L}^{-1}$  정도 높은 수치를 나타내고 있으나, 이 지점들의 수치상승은 하류로 갈수록 수질이 악화되는 하천의 특징이 반영되었기 때문이라고 판단되었다.

총인(TP)의 지점별 변화양상은 총질소와 같은 양상을 나타내고 있고, 전체적으로 매우 악화된 상태를 보이고 있었으며, 전 지점에서 부영양화현상이 심각한 것으로 사료되었다. 특히 3지점은  $0.27 \text{ mg L}^{-1}$  이상을 보여 총질소와 마찬가지로 인근 분뇨처리장과 금호강의 생활하수 유입이 가장 큰 원인이라 판단되었다. 전체 지점에서의 높은 총인농도 수치로 인하여 향후 본 수계에서는 총인의 제어가 시급할 것으로 사료되었다.

전기전도도는 1, 2지점에서는  $220 \mu\text{S cm}^{-1}$  이하를 보이고 있으나, 3지점에 이르러  $530 \mu\text{S cm}^{-1}$ 의 수치를 보이고 있으며, 4지점에서는  $250 \mu\text{S cm}^{-1}$ 로 수치의 하락을 보였다(Fig. 2). 이는 전기전도도가 유기오염정도를 나타내는 생물화학적 산소요구량(BOD)과 부영양화정도를 나타내는 총인(TP)과 큰 상관관계를 가지는 지수이기 때문에, 본 수계의 각 지점에서의 변화 양상 역시 생물화학적 산소요구량, 총인과 매우 비슷한 양상을 보였다고 사료되었다(강과 안, 2006). 3지점에서의 급격한 수치 증가는 생물화학적 산소요구량, 총인과 마찬가지로 3지점에 인접한 분뇨처리장의 방류수와 금호강을 통해 유입되는 대구광역시의 생활하수의 영향이 큰 것으로 판단되었다.

총부유물(TSS)은 1지점( $10 \text{ mg L}^{-1}$ )부터 4지점( $21 \text{ mg L}^{-1}$ )까지 지속적으로 증가하였으나, 5지점부터 수치의 하락이 나타나 6지점에서는 평균  $17 \text{ mg L}^{-1}$ 로 3지점에 비하여 오히려 낮은 수치를 보였다(Fig. 2). 총부유물은 상기 5개의 화학적 수치와 유의성이 없는 것으로 나타났으며, 6지점의 수치 하락은 밀양강 유입수에 의한 희석효과 때문으로 사료되었다.

## 2. 물리적 서식지 평가

낙동강수계의 서식지 상태는 1, 5지점에서는 양호상태(Good)를 보였으며, 나머지 4개 지점에서는 모두 보통상태(Fair)를 보였다(Fig. 3). 1지점의 물리적 서식지 상태는 양호상태를 보였으나, 어류에 가장 직접적으로 영향을 미치는 1차 요인인  $M_1 \sim M_5$ 에서 낮은 수치를 기록하였다. 특히, 하상 기질의 80% 이상이 모래로 이루어져 있고, 자갈, 모래, 점토 등 침전물의 비율이 높아 하상구조의 단순화가 이루어져 있었다. 이에 반해 제방 특성과 구조는 매우 양호한 상태로 나타나 하천 주변부의 물리적 서식지 상태는 잘 유지되고 있는 것으로 나타났다. 3, 4지점

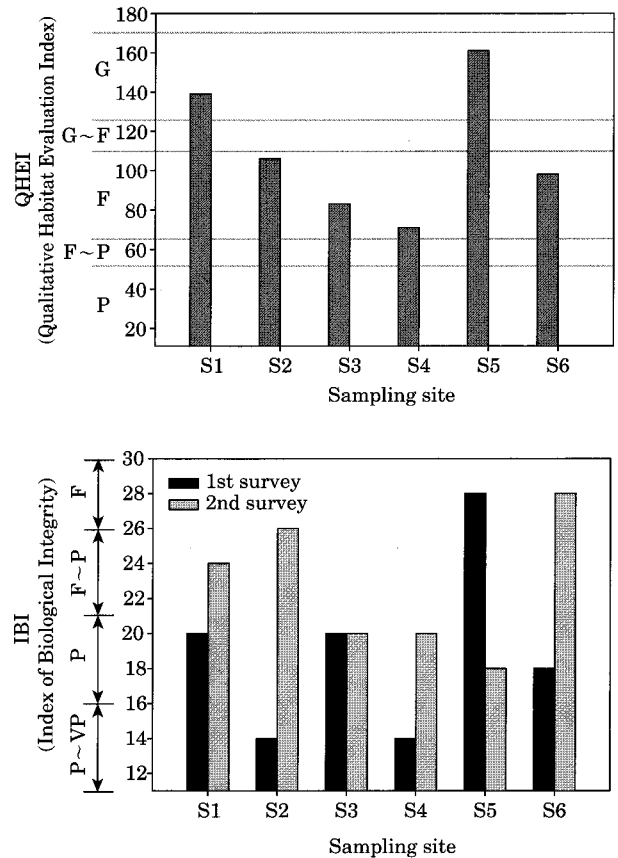


Fig. 3. Spatial comparisons of Qualitative Habitat Evaluation Index (QHEI) and index of biological integrity (IBI)

의 물리적 서식지 상태는 보통 상태를 나타냈지만, 보통~악화(Fair~Poor)에 가까운 상태를 보여 서식지의 교란이 큰 것으로 판단되었다. 두 지점 모두 골재채취로 인하여 하상 기질 특성이 변하고, 유기물 침적이 심해져 어류가 살기위한 서식지나 산란장의 기능은 상실된 것으로 사료되었다. 5지점의 물리적 서식지 지수는 161로 전 지점에서 가장 좋은 서식지 상태를 보였다. 수변식생대의 폭이 넓고, 하상 기질이 자갈과 모래로 구성되어 있으며, 침전물과 유로 변경도가 낮아 물리적 서식지의 상태가 양호한 것으로 나타났다. 6지점의 경우, 제방 안정도가 낮고 제방식생이나 수변식생이 거의 분포하지 않아 제방 특성과 구조면에서 매우 악화된 상태를 나타냈다. 수계의 전반적인 하천 직선화로 인하여  $M_7$ 의 서식지 평가지수는 전체 매트릭중에 가장 낮은 평균값을 기록하였으며, 수계의 지점별로 인공보를 비롯한 인공 조형물의 설치가 적고, 수로변경도가 낮은 것으로 나타나  $M_6$ (수로 변경도)은 가장 높은 수치를 보였다(Table 2).

**Table 1.** Fish fauna and the various guilds of trophic level, tolerance and habitats in Nakdong River.

Species	Tolerance guild	Trophic guild	Habitat guild	1st survey						2nd survey						
				S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6	
<i>Acheilognathus majusculus</i>	SS	I	RB					1								
<i>Hemibarbus labeo</i>	SS	I							3		3	2	1			
<i>Hemibarbus longirostris</i>	SS	I			3					3						
<i>Pungtungia herzi</i>	SS	I	RB								1	3				
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	SS	O														9
<i>Zacco temminckii</i>	SS	I														2
<i>Acanthothodeus macropeterus</i>	IS	O				1		1	1	6		2				
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	IS	O	RB		1				12			8				6
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	IS	C				1		9	11	16		49	5	2		
<i>Pseudogobio esocinus</i>	IS	I		1	2		2	12		12	8					
<i>Acheilognathus rhombeus</i>	TS	H		1												
<i>Carassius auratus</i>	TS	O		5	1						2	9				
<i>Cyprinus carpio</i>	TS	O			1											
<i>Pseudorasbora parva</i>	TS	O				1						1		1	1	
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	TS	I		4		1		23								
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>	TS	O				15				16		6				
<i>Zacco platypus</i>	TS	O			80	76	94	3	1	26	272	9	1	5		
<i>Cobitis sinensis</i>	IS	I	RB		2	3				1	9					
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	TS	H										2		1		
<i>Misgurnus mizolepis</i>	TS	H		1								6			1	
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	IS	C						4								
<i>Silurus asotus</i>	TS	C						3				1		1	1	
<i>Plecoglossus altivelis</i>	SS	H								1						
<i>Orizias latipes</i>	IS	O		1												
<i>Lepomis macrochirus</i>	TS	I							1							2
<i>Micropterus salmoides</i>	TS	C			2		1		20				2	3	2	
<i>Odontobutis platycephala</i>	IS	C	RB									29				8
<i>Rhinogobius brunneus</i>	IS	I	RB													1
Total number of species				6	8	7	3	9	10	7	11	6	7	8	4	
Total number of individual				13	92	98	97	68	58	72	342	70	13	20	20	

SS=Sensitive species, IS=Intermediate species, TS=Tolerant species, O=Omnivore, I=Insectivore, C=Carnivore, H=Herbivore, RB=Riffle-benthic species

### 3. 종구성 및 생태 지표 특성

본 연구의 어류채집 결과에 따르면 1차 조사에서 22종, 2차 조사에서 20종이 채집되어 총 28종이 채집되었고 (Table 1), 채집된 어류 중 과(Class)별 종다양도는 잉어과 어류가 17종으로 가장 높았고, 그 외에 미꾸리과 3종, 검정우렁과 2종 등의 순으로 나타났다. 낙동강에서 이루어진 기존의 연구에 따르면 1970년대 조사 시 18과 55종이 출현하였고(양, 1973), 전과 주(1977)에 의해 24과 91종이 서식하는 것으로 보고되었다. 또한, 장 등 (2001)에 의해 17과 48종이 채집되었으나, 본 연구에서는 9과 29종만이 확인되어 과거 비해 종다양도가 크게 감소하였다.

어류의 상대풍부도(Relative abundance) 분석에 따르면, 피라미 (*Zacco platypus*) 59%, 꼬리 (*Opsariichthys*

*uncirostris amurensis*) 10%, 물개 (*Squalidus japonicus coreanus*) 4. % 순으로 나타나 내성종이 우점하는 것으로 나타났다 (Table 1).

내성도(Tolerance guild) 분석에 의하면, 민감종(Sensitive species)은 3% (32개체), 내성종(Tolerance species)은 73% (707개체), 중간종(Intermediate species)은 23% (226개체)로 나타났다 (Fig. 4). 1차 조사 시 거의 모든 지점에서 내성종의 개체빈도가 높게 나타났고, 중수 면에서도 내성종 우점현상을 보였다. 반면, 2차 조사의 경우 내성종에 비해 중간종의 상대빈도가 높게 나타났다. 특히, 1지점의 경우 내성종의 상대빈도가 85%였으나, 2차 조사 시 내성종의 상대빈도는 39%로 감소하였다. 4지점의 경우 내성종의 상대빈도가 95%에서 24%로 급감하였고 중간종인 꼬리가 75%로 우점하였다. 또한, 상류에서 하류로

**Table 2.** Qualitative Habitat Evaluation Index (QHEI) at six sampling locations in Nakdong River.

Habitat parameters	Sampling site					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
M <sub>1</sub> Substrate/Instream cover	10	8	6	5	18	10
M <sub>2</sub> Embeddedness	8	13	6	3	16	15
M <sub>3</sub> Flow velocity/ Depth combination	6	11	6	6	16	10
M <sub>4</sub> Bottom scouring & Sediment deposition	8	11	8	8	16	18
M <sub>5</sub> Channel flow status	8	8	8	6	15	15
M <sub>6</sub> Channel alteration	18	8	10	15	11	8
M <sub>7</sub> Frequency of riffles or bends	10	6	3	5	10	5
M <sub>8</sub> Bank stability	18	10	12	4	15	4
M <sub>9</sub> Bank vegetative protection	18	16	10	3	15	4
M <sub>10</sub> Riparian vegetative zone width	20	10	4	6	18	4
M <sub>11</sub> Dam construction impact	15	5	10	10	11	5
Total score	139	106	83	71	161	98

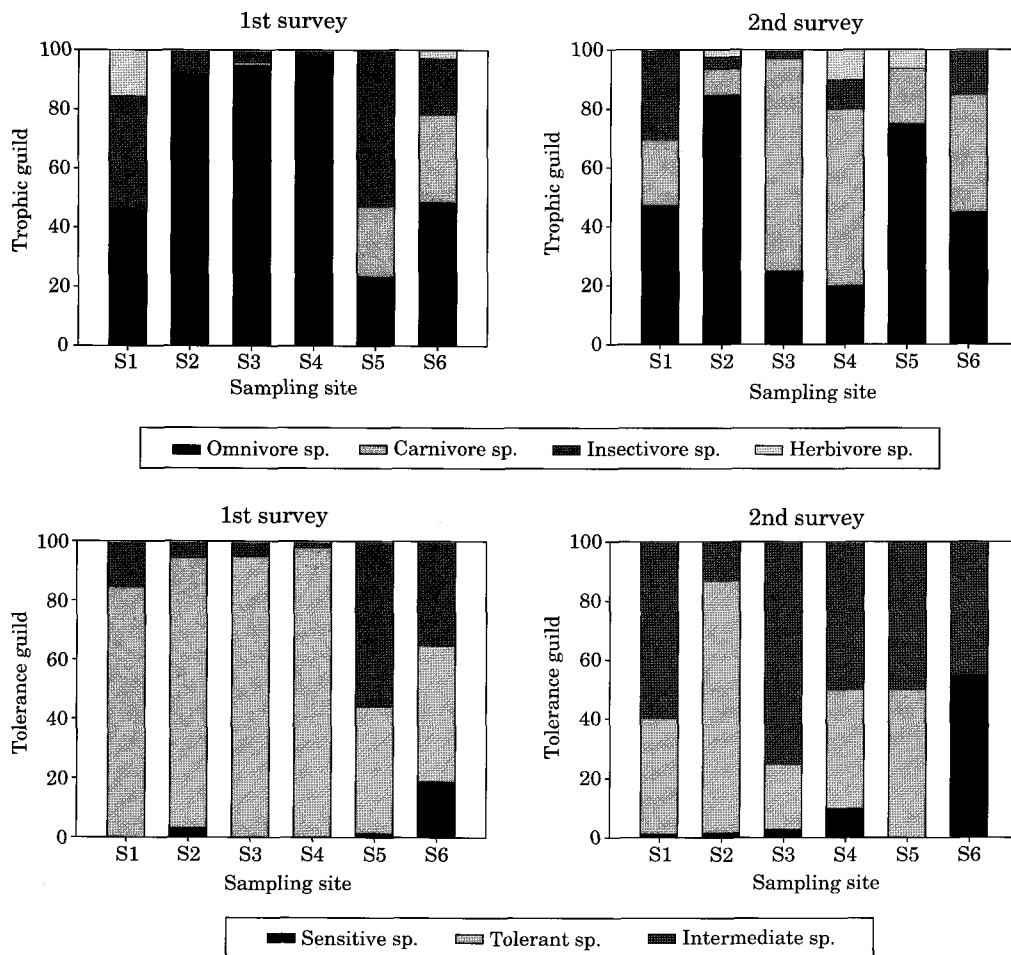
갈수록 내성종의 개체수가 증가하는 경향을 보여 낙동강 수환경의 생태계 교란 존재를 시사하였다.

섭식특성 (Trophic guild) 분석에 의하면, 잡식성 (Omnivore) 어종은 676개체로 70%, 육식성 (Carnivore) 어종은 170개체로 18%, 충식성 (Insectivore) 어종은 106개체로 11%, 초식성 (Herbivore) 어종은 13개체로 1%를 차지하였다 (Table 1). 지점별 상대빈도 분석에 따르면, 거의 모든 지점에서 잡식성 어종의 상대빈도가 높게 나타나 육식종 및 충식종에 비해 우점하는 것으로 나타났다 (Fig. 4).

환경의 질적 저하에 따라 증가하는 양상을 보이는 외래어종 (Exotics species)은 1지점을 제외한 전 지점에서 채집되어 외래어종에 의한 생태계의 교란현상이 존재함을 나타냈다 (US EPA, 1991).

**4. 생물학적 건강도 평가 분석**

낙동강의 어류를 이용한 생물학적 건강도 지수 (Index



**Fig. 4.** Trophic and tolerance guilds in the 1st and 2nd survey.

**Table 3.** Biological water quality assessments, based on the 10 metric IBI model in Nakdong River.

Sampling location	TNS	RBS	SS	TS	OS	IS	CS	TNI	XT	AI	IBI (Criteria)	
1st survey	S1	6 (1)	0 (1)	0 (1)	85 (1)	46 (1)	38 (3)	0 (1)	13 (1)	0 (5)	0 (5)	20 (IV)
	S2	7 (1)	2 (1)	1 (1)	91 (1)	92 (1)	8 (1)	0 (1)	90 (1)	2 (1)	0 (5)	14 (IV~V)
	S3	7 (1)	1 (1)	0 (1)	95 (1)	95 (1)	4 (1)	1 (3)	98 (1)	0 (5)	0 (5)	20 (IV)
	S4	2 (1)	0 (1)	0 (1)	98 (1)	98 (1)	2 (1)	0 (1)	96 (1)	1 (1)	0 (5)	14 (IV~V)
	S5	9 (1)	2 (1)	1 (1)	43 (1)	24 (3)	53 (5)	24 (5)	68 (1)	0 (5)	0 (5)	28 (III)
	S6	8 (1)	1 (1)	3 (1)	46 (1)	49 (1)	19 (1)	30 (5)	37 (1)	36 (1)	0 (5)	18 (IV)
2nd survey	S1	7 (1)	2 (1)	1 (1)	39 (1)	47 (1)	31 (3)	22 (5)	72 (1)	0 (5)	0 (5)	24 (III~IV)
	S2	11 (3)	3 (1)	2 (1)	85 (1)	85 (1)	4 (1)	9 (5)	342 (3)	0 (5)	0 (5)	26 (III)
	S3	5 (1)	0 (1)	1 (1)	22 (1)	25 (3)	3 (1)	72 (5)	68 (1)	3 (1)	0 (5)	20 (IV)
	S4	6 (1)	0 (1)	1 (1)	40 (1)	20 (3)	10 (1)	60 (5)	10 (1)	23 (1)	0 (5)	20 (IV)
	S5	6 (1)	1 (1)	0 (1)	50 (1)	75 (1)	0 (1)	19 (5)	16 (1)	20 (1)	0 (5)	18 (IV)
	S6	4 (1)	2 (1)	2 (1)	0 (5)	45 (3)	15 (1)	40 (5)	20 (1)	0 (5)	0 (5)	28 (III)

The abbreviations are as follows: 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, and AI=Proportion individuals with anomalies. The IBI criteria of III, IV, and V indicate fair, poor, and very poor, respectively.

of Biological Integrity, IBI)는 1차 조사 결과 평균 19 (n=6)로 “악화상태”(Poor)를 보였고, 2차 조사 결과 평균 22.7 (n=6)로 “보통~악화상태”(Fair~Poor)를 나타냈다 (Fig. 4). 각 지점에서 생물학적 건강도 값이 전반적으로 낮은 이유는 물리적 서식지 교란과 이화학적 수질 악화에 의한 것으로 사료되었다.

3지점의 경우, 물리적 서식지교란과 이화학적 수질 악화에 의해 생물학적 건강도 값이 낮게 나타난 것으로 사료되었다. 4지점의 생물학적 건강도는 전체 지점에서 가장 낮은 수치를 보였는데 (Table 3, Fig. 4), 이는 화학적인 오염원에 의한 수체의 교란보다는 서식지 악화의 영향이 더 크게 작용하였을 것으로 사료되었다 (Table 2, Fig. 3). 특히, 골재채취 공사로 인한 하상구조의 변화는 어류에 직접적인 영향을 미친 것으로 사료되었다.

**고 찰**

2004년 7월부터 2005년 3월까지 낙동강 수계의 연구에 따르면, 낙동강 상류부(S1, S2)에서 생물학적 건강도는 평균 21로서 낮은 값을 보였다. 이는 모래 및 실트의 유입으로 인한 하상구조의 단순화로 인해 종 다양성이 제한되어 어류 종분포 및 서식에 영향을 주는 것으로 나타났다. 3지점은 금호강 유입에 의한 이화학적 수질 악화와 물리적 서식지의 교란으로 인해 총체적인 하천건강도가 상류에 비해 크게 악화되었다. 특히, 대구 지역의 하·폐수를 함유한 금호강의 유입은 낙동강 중류부터 하류까

지의 수질악화에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었고, 금호강의 유입에 따른 낙동강 수계의 수질악화를 방지하기 위해 고도정수처리시설의 도입이 절실할 것으로 사료되었다. 4지점의 경우 남강의 유입으로 인한 수질개선 효과를 기대하였으나, 본류 유량의 20~40%에 불과한 남강의 유량은 수질개선에 큰 영향을 미치지 못 하였다. 물리적 서식지 역시 보통 이하에 가까운 상태를 나타내어 서식지에 대한 복원이 이뤄져야 할 것으로 사료되었다. 5, 6 지점의 경우 하남공단의 배출수와 분뇨처리시설에 의한 영향이 예상되었지만 희석효과 및 생물학적 자정작용에 의해 수질이 일부 개선되거나 일정농도를 유지하는 것으로 나타났다. 또한, 더 나아진 물리적 서식지 상태에 의해 하천의 건강도가 향상된 것으로 판단된다.

낙동강 본류를 대상으로 한 본 연구 결과를 종합해보면 낙동강의 하천건강도는 이화학적 수질 악화, 하천의 물리적 서식지 교란 등으로 인해 좋지 못한 상태를 보이고 있어 장기적이고 지속적인 모니터링을 통해 하천의 건강성을 회복시켜 나가는 것이 시급하다고 사료된다.

**사 사**

본 연구는 환경부의 “수중 생태계에서 어류개체 및 군집수준의 생활학적, 화학적, 물리적 서식지 스트레스서 평가모델 개발 및 최적 스트레스 분석”을 위한 예비 연구로서 수행되었음.



## 적 요

본 연구에서는 낙동강 수계의 본류에 해당하는 6개 지점을 선정하여 2004년 7월(풍수기), 2005년 3월(갈수기), 2회에 걸쳐 생물학적 건강도 지수(Index of Biological Integrity, IBI), 정성적 서식지평가지수(Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI) 분석 및 이화학적 수질분석을 통해 통합적 하천 생태 건강성 평가를 실시하였다. 생태 건강성 평가를 위한 생물통합지수 모델은 국내 특성에 맞게 수정·보완된 10개 다변수 메트릭 모델(Multimetric model)을 이용하였고, 물리적 서식지 지수인 QHEI는 국내 하천 특성에 맞게 변형한 11개의 다변수 메트릭 모델을 적용하였다. 낙동강의 생물통합지수는 평균 20.8(n=12)로 “악화상태”(Poor)를 나타냈으며, 각 지점에서 전반적으로 낮은 생태학적 건강도 값을 나타냈다. 이는 이화학적 수질 악화와 물리적 서식지의 교란으로 인해 수체 내의 생물에게 직접적인 영향을 끼친 것으로 사료되었다. 물리적 서식지평가지수인 QHEI의 전 지점에 대한 평균값은 110으로 “보통~양호상태”(Fair~Good)를 보였다. 지점별 분석에 따르면, 1, 5지점은 양호상태(Good)를 보였고, 나머지 4개 지점에서는 모두 보통상태(Fair)를 보였다. 그러나 3, 4지점은 보통~악화(Fair~Poor)에 가까운 상태를 보여 서식지의 교란이 큰 것으로 판단되었으며, 특히 M<sub>1</sub>~M<sub>5</sub>, M<sub>7</sub>, M<sub>10</sub>에서 매우 악화된 상태를 보여 향후 메트릭에 대한 복원이 필요할 것으로 사료되었다. 이화학적 수질은 3지점에서 금호강의 유입과 인근에 위치한 분뇨처리시설의 직접적인 영향으로 인해 크게 악화되었다. 낙동강의 하류에 해당하는 4, 5, 6지점은 남강과 황강의 유입에 의한 희석효과 및 생물학적 자정작용에 의해 수질이 개선되거나 일정농도를 유지하는 것으로 나타났다.

## 인 용 문 헌

- 강선아, 안광국. 2006. 영산강 수계의 이화학적 수질에 관한 시공간적 변이 분석, *육수지* **39**(1): 73-84.
- 김익수. 1997. 한국동식물도감 제3권 동물편(담수어류). 교육부.
- 김익수, 강연중. 1993. 원색 한국 어류도감. 아카데미서적.
- 김익수, 박종영. 2002. 원색도감 한국의 민물고기. 교학사.
- 박성배, 이상균, 장광현, 장광석, 주기재. 2002. 장마기의 강우가 낙동강 하류(물금) 수질에 미치는 영향, *육수지* **35**(5): 160-171.
- 송미경, 박정길, 이석모, 백정훈, 신성교, 송교육. 2000. 동계 낙동강 하류 물금수역에서의 수질악화원인구명, *한국물환경학회지* **16**(3): 305-314.
- 안광국, 김자현. 2005. 물리적 서식지평가지법 및 어류 다변수 평가모델에 의거한 대전천의 생태학적 건강도 진단, *육수지* **38**(3): 361-371.
- 안광국, 염동혁, 이성규. 2001a. 생물보전지수(Index of Biological Integrity)의 신속한 생물평가 기법을 이용한 갑천수계의 평가, *환경생물* **19**(4): 261-269.
- 안광국, 이재연, 배대열, 김자현, 황순진, 원두희, 이재관, 김창수. 2006. 우리나라 주요하천 수계에서 다변수모델을 이용한 생태학적 수환경 평가, *한국물환경학회지* **22**(5): 796-804.
- 안광국, 이재연, 장하나. 2005. 유등천에서의 생태학적 건강도 평가 및 수질양상, *육수지* **38**(3): 341-351.
- 안광국, 정승현, 최신석. 2001b. 생물보전지수(Index of Biological Integrity) 및 서식지 평가지수(Qualitative Habitat Evaluation Index)를 이용한 평창강의 수환경 평가, *육수지* **34**(3): 153-165.
- 양홍준. 1973. 낙동강산 어류의 조사-목록과 분포에 관하여, *육수지* **6**: 19-36.
- 이찬원, 이규환. 1993. 낙동강 지류가 낙동강 수질에 미치는 영향, *경남대학교 환경문제연구소 환경연구* **15**: 23-41.
- 이현동, 배철호. 2002. 비점오염원 유출특성과 저감을 위한 최적관리방안, *한국물환경학회지* **18**(6): 569-576.
- 이현동, 안재환, 배철호, 김운지. 2001. 강우시 유출부하량을 이용한 팔당상수원 유역의 비점오염원 원단위와 발생량 추정, *한국물환경학회지* **17**(3): 313-326.
- 임영성, 조주식, 이홍재, 이영한, 손보균, 허중수. 1999. 낙동강 수계의 수질 현황, *한국환경농학회지* **18**(2): 126-134.
- 장민호, 조가익, 주기재. 2001. 낙동강 본류의 어류상, *육수지* **34**(3): 223-238.
- 전상린, 주일영. 1977. 낙동강의 어류상에 관한 연구. 1. 상주, 안동을 중심으로, *육수지* **10**: 19-28.
- 정용준, 남광현, 민경석. 2004. 낙동강 소유역 경지에서의 비점오염원 물질 발생 및 배출 특성, *한국물환경학회지* **20**(4): 333-338.
- 채병수, 남명모, 양홍준. 1998. 낙동강수계 영강의 어류군집구조, *한국어류학회지* **10**(1): 67-76.
- 환경부. 2005. 물환경종합평가방법 개발 조사연구(II). p. 350-390.
- 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.
- Horton, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin* **56**: 275-370.

- 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.
- Plafkin, J.L., M.T. Barbour, K.D. Porter, Gross, S.K. and R.M. Hughes. 1989. Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrate and fish. EPA/444/4-89-001. Office of water regulations and standards. US EPA. Washington. DC, USA.
- Strahler, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *American Geophysical Union Transactions* **38**: 913-920.
- US EPA. 1991. Technical support document for water quality-based toxic control. EPA 505-2-90-001. US EPA, Office of Water, Washington D.C., USA.
- US 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, US EPA, Cincinnati, Ohio 45268, USA.

(Manuscript received 30 March 2007,  
Revision accepted 4 June 2007)