

어류의 군집 메트릭 모델을 이용한 유구천의 생태 건강도 평가

안 광 국* · 이 의 행

(충남대학교 생명과학부 생물학과)

Ecological Health Assessments of Yoogu Stream Using a Fish Community Metric Model. An, Kwang-Guk* and Eui-Haeng Lee (School of Bioscience and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

The objective of study was to evaluate ecological health from seven sampling locations of Yoogu Stream, one of the tributaries of Guem River, July and September 2005. The research approach was based on the Index of Biological Integrity (IBI) using fish assemblage and Qualitative Habitat Evaluation Index (QHEI) using fish assemblage. The models of IBI and QHEI were modified as 10 metric model and 11 metric model, respectively, for the regional applications. In Yoogu Stream, value of IBI were averaged 29.5 (n=7) which is judged as a "fair condition". The IBI model scores, at the site 3 and 7, were estimated as 23 and 24, indicating a "poor~fair condition" while, site 5 was estimated as 28, "fair condition". The remaining sites were between 31 and 34, indicating "fair~good condition". According to the analysis of QHEI, the average was estimated as 136, "fair~good condition". Spatial variation the QHEI were evident; site 1 and site 4 were 186 and 120 respectively, indicating an "excellent and fair~good conditions". Site 3 was 69, fair condition while the other sites were 128~156, good condition.

Key words : water quality, ecological model, stream, habitat quality

서 론

급속한 도시의 확산과 산업의 발전으로 수환경이 악화되는 가운데 우리나라에서 수환경 평가방법으로 주로 이·화학적 요소들이 중요시 되어왔다. 그러나 유기물질 및 독성물질의 오염이 없는 상황에서도 인공 조형물 건설, 골채채취 및 하상구조 변경과 같은 수환경의 물리적 변경은 어류의 산란지와 서식지 파괴 등의 문제점을 야기시키기 때문에 단순히 화학적 변수에 의한 평가만으로는 총체적인 수환경 평가가 불가능하다 (Judy *et al.*, 1984; 공, 2002).

최근, 청계천, 양재천의 하천 복원 사업으로 환경에 대한 관심이 증가하고 있으며, 이에 따라 생태계 복원 및 생물종을 이용한 평가방법의 연구가 활발히 진행되고 있다 (환경부, 2004; 장과 홍, 2004). 생물학적 평가방법은 이·화학적 수질 특성 및 물리적 서식지 교란의 영향(안과 김, 2005)을 잘 반영할 뿐만 아니라, 계절적 강우변화로 인한 생태계의 영향(An, 2000, 2001)과 수환경의 물질 교환(An *et al.*, 1992; 김 등, 1993; 이, 2001) 등 다양한 요인을 반영하기 때문에 총체적인 평가가 가능하다(안과 신, 2005). 이런 장점 때문에 최근 국내에서는 하천의 다양한 변화를 잘 반영할 수 있는 지표생물을 이용한 하천 건강도 평가 방법들이 다양하게 연구되고 있다(박 등,

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

2001; 안 등, 2001; 최 등, 2004).

수중생태계에서 지표생물을 이용한 다변수 생물평가모델은 생태계 건강도 평가를 위해 현재 여러 국가에서 널리 사용되고 있으며, 이 중 대표적인 모델로는 수생태계 내에서 최상위 소비자로 분류되는 어류를 이용한 IBI (Index of Biological Integrity; Karr, 1981; Karr and Dionne, 1991) 모델이 있다. 어류의 IBI 모델을 이용한 하천의 건강도 평가는 미국 환경부에 의해 1990년대 초부터 사용되기 시작했고, 현재는 미국 41권역에서 수환경 정책반영에 사용되고 있을 뿐만 아니라 유럽, 일본, 캐나다 등 환경 선진국을 포함한 세계 여러 나라에서 수환경 평가 모델로 널리 이용되고 있다(안 등, 2001; US EPA, 2002). 어류는 다른 지표종에 비해 한 세대가 길기 때문에 장기간의 환경 변화를 반영하며, 이동성이 있기 때문에 다양한 서식조건을 대별 할 수 있다. 또한 수생태계의 최상위 소비자로서 먹이사슬을 통한 오염의 최종적인 영향을 반영할 수 있으며 채집현장에서 비교적 동정이 용이한 장점이 있다(US EPA, 1993; Barbour *et al.*, 1999). 우리나라에서 어류를 이용한 다변수 매트릭 모델의 적용은 염 등(2000)에 의해 도입되어 적용한 바 있다(안 등, 2001).

본 연구의 목적은 생물군집간의 역동성을 직접적으로 반영하는 생물학적 IBI 평가모델 적용, 물리적 서식지 특성을 반영하는 서식지 건강도 평가지수 (Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI) 및 일반 이·화학적 수질 항목의 총체적인 평가를 실시하여 유구천의 생태계 건강도를 진단하는데 있다.

재료 및 방법

1. 조사시기 및 조사지점 선정

본 연구에서는 금강 수계의 지류하천인 유구천 7개 지점(Fig. 1)을 선정하여 2005년 7월~9월까지 2회에 걸쳐 이·화학적 수질분석, 물리적 서식지 구조 분석 및 어류 채집 조사를 실시하였다. 1차 조사는 2005년 7월 21일에 실시하였고, 2차 조사는 2005년 9월 25일에 실시하였다. 본 연구대상 하천은 충남 공주시 유구읍 봉수산에서 발원하여 신평면에서 대룡천과 합류되고, 사곡면에서 마곡천과 합류되어 우성면을 동남진한 후 공주시에서 금강 본류에 합류되는 하천으로서 최상류부의 지점 1(St. 1)은 Horton (1945)과 Strahler (1957)의 하천차수 (Stream order) 기준에 의거할 때, 1차 하천으로서 하천의 폭이 좁고 하천 바닥의 자갈의 비율이 높으며, 제방식생이 발달

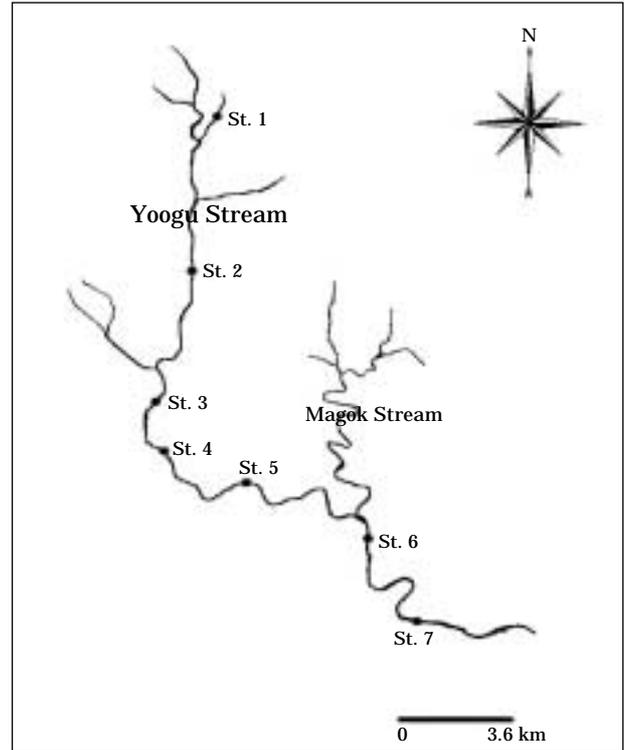


Fig. 1. The sampling site in Yoogu Stream, tributary of Geum River.

되어있고, 조사지점 주변은 농지로 이용되고 있다. 지점 2(St. 2)부터 지점 4(St. 4)는 3차 하천으로 인공보가 형성되어 있으며, 하천 폭이 비교적 넓고, 제방식생이 발달하여 좋은 서식지가 형성되어 있다. 그러나 지점 3(St. 3)의 경우, 인근 생활하수 및 농업용 폐수가 유입되는 지점으로 하상구조가 불량하고 악취가 심하여 오염의 영향이 예상되는 지점이다. 지점 5(St. 5)부터 지점 7(St. 7)은 4차 하천으로 하천 폭이 넓으며 유량이 풍부하고 식생이 잘 발달해 있으나, 부분적으로 인공제방과 인공보가 형성되어 있다. 세부 조사대상 지점은 다음과 같다.

- St. 1 : 충청남도 공주시 유구읍 탐곡리 문금성가든 부근 (1차 하천)
- St. 2 : 충청남도 공주시 유구읍 신달리 입석교 하류 (3차 하천)
- St. 3 : 충청남도 공주시 유구읍 유구리 만천교 상류 (3차 하천)
- St. 4 : 충청남도 공주시 삼풍면 공원리 원골 동원교 (3차 하천)
- St. 5 : 충청남도 공주시 삼풍면 영정리 영정초교 앞 영정교 (4차 하천)

St. 6 : 충청남도 공주시 사곡면 태육공원 화월교
(4차 하천)

St. 7 : 충청남도 공주시 우성면 동대리 동대교
(4차 하천)

2. 조사 방법

본 조사에서 어류 채집은 생태계 건강도 평가를 위해 개발된 Ohio EPA (1989)의 Wading method를 수정·적용하였다. 어류 채집은 현장에서 투망(망목 8×8 mm)과 어류채집용 전기 충격기(12 volt, 24 A) 그리고 족대(망목 4×4 mm)를 이용하였으며, 채집거리는 각 조사지점에서 상, 하류로 100 m 구간에서 50분동안 실시하였다. 각 지점에서 채집된 어류는 Nelson (1994)의 분류체계를 따랐고, 김 등(2005), 김과 박(2002), 최(2001)에 의거해 동정 후 즉시 놓아주었으며, 동정이 확실치 않은 종은 실험실로 옮겨 정확히 동정하였다.

3. 일반 수질항목 분석

본 연구에서 이용된 이·화학적 수질은 2005년 7월 21일에 실시한 1차 조사와 2005년 9월 25일에 실시한 2차 조사에서 Multi-Analyzer 815PDC (pH meter), YSI 85 (다항목측정기)를 이용하여 현장에서 직접 측정하였다. 이용된 변수는 수온 (Water temperature), 수소이온농도 (pH), 용존산소량 (Dissolved oxygen: DO), 전기전도도 (Electric conductivity: EC, 25°C에서 보정)로서 조사 지점별 특성을 분석하였다.

4. 물리적 서식지 평가지수 모델 (QHEI) 적용 및 현장평가

물리적 서식지 지수 (Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI)는 안과 김 (2005)에 의하여 국내 하천 특성에 맞게 보완된 11개의 다변수 메트릭 모델을 이용하였다. 모델 분석에 이용된 메트릭은 M₁: 하천 서식지 구성 (Epifaunal substrate/Available cover), M₂: 하상매몰도 (Embeddedness), M₃: 흐름유형 (Velocity/Depth combination), M₄: 하상유실 및 토사축적도 (Sediment deposition), M₅: 유량상태 (Channel flow status), M₆: 하천 변경도 (Channel alteration), M₇: 여울빈도 및 하천 굴곡도 (Frequency of riffles or bends), M₈: 제방안정도 (Bank stability), M₉: 제방식생 보호도 (Bank vegetative protection), M₁₀: 친변 식생대의 폭 (Riparian vegetative zone width) 및 M₁₁: 소규모 보 및 댐의 유무 (Dam construction

effect)의 총 11개 메트릭으로 구성되었고, 각 변수값의 등급구분은 US EPA (1993)의 기준에 의거하여 각 메트릭으로부터 얻어진 값의 합을 최종적으로 Excellent (220~182), Good (168~124), Fair (110~66), Poor (52~8)의 4개 등급으로 구분하였다.

5. 생물학적 건강도 모델 적용 및 평가

채집 자료를 바탕으로 한 생물통합지수 (Index of Biological Integrity, IBI) 산정은 Barbour *et al.* (1999)과 US EPA (1993)의 기준에 의거하였고, 물리적 서식지 지수 (QHEI)와 비교하였다. 생물통합지수는 안 등(2001)에 의하여 국내 환경에 맞게 수정·보완된 10개 다변수 메트릭 모델 (Multimetric model)을 이용하였다. M₁: 총 본토종수 (Total number of native species), M₂: 여울성 저서종수 (Number of riffle-bentic species), M₃: 민감종의 개체수 (Number of sensitive species), M₄: 내성종의 개체수빈도 (Proportion of tolerant species), M₅: 잡식성종의 상대빈도 (Proportion as a number of omnivore species), M₆: 본토 충식성 종의 상대빈도 (Proportion as a number of insectivore species), M₇: 본토 육식종의 상대빈도 (Proportion as a number of carnivore species), M₈: 총개체수 (Total number of individual), M₉: 외래종 빈도 (Proportion as a number of exotic species), M₁₀: 개체의 비정상도 빈도 (Proportion as a number of abnormal individual)의 총 10개 메트릭에 대해 각각 “5”, “3”, “1”의 점수를 부여한 뒤 각 메트릭 값을 산정하여 최적상태 (Excellent, 50~46), 양호상태 (Good, 40~36), 보통상태 (Fair, 30~26), 악화상태 (Poor, 20~16), 최악상태 (Very Poor, ≤10)의 5개 등급으로 구분하였다.

6. 군집 분석법

본 하천의 군집 특성분석을 위해 아래와 같이 군집 우점도 지수 (Simpson, 1949), 종 풍부도 지수 (Margalef, 1958), 종 다양도 지수 (Shannon and Weaver, 1949) 및 종 균등도 지수 (Pielou, 1975)를 산정하였다.

i) 군집 우점도 지수 (Simpson's Dominance Index, λ)

$$\lambda = \sum \frac{N_i^2 - N}{N(N-1)}$$

[N=총 출현 개체수, N_i=i종의 개체수, S=총 출현 종수]

ii) 종 풍부도 지수 (Margalef's species richness index, d)

$$d = \frac{(S-1)}{\ln(N)}$$

iii) 종 다양도 지수 (Shannon-Weaver diversity index, H')

$$H' = -\sum P_i \log_{10} P_i$$

$[P_i = N_i/N]$

iv) 종 균등도 지수 (Pielou's evenness index, J')

$$J' = \frac{H'}{\log_e S}$$

결 과

1. 종 분포 특성과 지표종 특성

본 연구의 어류채집 결과에 따르면 1차 조사에서는 27종 1,451개체, 2차 조사에서는 24종 2,466개체가 채집되어 총 31종 3,917개체가 채집되었다. 최상류인 지점 1과 지점 5를 제외한 지점 2, 3, 4, 6, 7에서는 내성종 (Tolerant species)이 우점하고 있었고, 피라미 (*Zacco platypus*)가 전체의 52%로 우점하고 있는 것으로 나타났다. 섭식특성 (Trophic guild) 분석에 의하면, 잡식성 (Omnivore) 및 육식성 (Carnivore) 어종은 전체 어종 중 77% 및 2%로 나타났고, 충식성 (Insectivore) 어종은 20%로 나타나 유구천에서는 잡식성 어종이 우점하고 있는 것으로 나타났으며, 특히 지점 1에서는 잡식성 어종이 90%로 가장 높게 나타났다 (Table 1, Fig. 2). 한편, 외래어종 (Exotics species)은 전체 지점에서 전혀 출현하지 않았다 (Table 2).

최상류 지점인 지점 1에서는 민감종 (Sensitive species)인 버들치 (*Rhynchocypris oxycephalus*)의 상대빈도가 50%로 나타났고, 내성종은 피라미의 비율이 40%인 것으로 나타났다. 또한 육식성 어종인 동사리 (*Odontobutis platycephala*) 및 얼룩동사리 (*Odontobutis interrupta*)는 공서하는 것으로 나타났다. 지점 1은 총 4종이 채집되어 종수와 개체수 측면에서 가장 낮은 수치를 보였다 (Table 2).

지점 3에서 1·2차 조사의 비교·분석에 따르면, 각각 57개체와 598개체가 채집되어, 그 중 피라미가 각각 30개체와 480개체가 채집되어 78%로 우점하였고 (Table 1), 내성종이 86%로 우점하였다 (Fig. 2). 이러한 내성종의 우점현상은 지점 3의 유구 생활하수 및 농업용수의 영향으

로 사료되었으며, 실제 본 지점에서는 악취가 심하고 다량의 기포가 발생하고 있으며, 유기물이 과다하게 침적되어 있었다.

지점 5는 민감종과 내성종이 각각 45%, 47%로 나타나 상대빈도에 있어서 큰 차이를 보이지 않았다 (Table 2, Fig. 2). 한편 지점 6에서 내성종은 40%, 민감종은 29%로서 일부 내성종 우점현상을 보였으며, 총 채집종수는 23종으로서 전체 지점 중 가장 다양한 종이 출현하였다 (Table 2, Fig. 2).

2. 어류 군집분석 특성

어류 군집분석 결과에 따르면, 1차 조사에서 지점 7의 경우 군집 우점도 지수 (Simpson's dominance index)는 0.898로서 최고치를 보인 반면, 종 다양도 지수 (Shannon-Weaver diversity index)와 종 균등도 지수 (Pielou's evenness index)는 각각 0.279와 0.173으로 최저치를 보인 반면에 종 풍부도 지수 (Margalef's species richness index)는 0.924로 지점 1과 3보다 높게 나타났다. 지점 7에서 군집 우점도 지수가 최대치를 보인 이유는 76개체 중 피라미 (Table 1)가 90% 이상을 상회하여 우점하였기 때문으로 사료된다. 지점 6의 경우 1차 조사에서 20종 307개체로 가장 많은 종과 개체수를 나타냈으며, 종 풍부도 지수와 종 다양도 지수는 각각 3.318, 1.932로 최고치를 보였다. 종 균등도 지수 역시 0.645로 비교적 높게 나타났다. 반면에 군집우점도 지수는 0.250으로 최저치를 보였다 (Table 3).

2차 조사에는 1차 조사에서 가장 악화된 군집구조를 보였던 지점 7의 종수와 개체수가 풍부해지면서 안정된 군집구조를 보여주었는데, 이는 풍수기의 많은 유량과 빠른 유속이 상류에 서식하던 개체들을 하류로 이동시켰기 때문으로 사료되었다 (안과 김, 2005). 반면에 지점 3은 개체수는 598개체로 가장 높게 나타났지만 피라미가 480개체 (Table 1)로 우점하고 있어서 군집 우점도 지수가 0.654로 가장 높게 나타났으며, 종 균등도 지수와 종 다양도 지수가 각각 0.371, 0.815로 가장 낮은 수치를 보였다 (Table 3).

3. 하천 생태 건강도

본 연구에서 채집된 어류를 이용하여 생물학적 건강도 지수를 산정하였고, 얻어진 자료를 US EPA (1993)의 등급 평가기준에 의거하여 구분한 결과는 Table 2와 같다. 1·2차 조사결과에 따르면, 건강도 지수의 평균값은 각각 28 (n=7) "보통상태" (Fair)와 31 (n=7) "보통~양호상

Table 1. Tolerance guild, trophic guild and habitat guild in Yoogu Stream.

Species	Tolerance guild		Trophic guild		Habitat guild		1st survey							2nd survey								
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	
Cyprinidae																						
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>																						
<i>Acheilognathus yamatsuatae</i>																						
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>																						
<i>Gnathopogon strigatus</i>			7																			
<i>Hemibarbus longirostris</i>		16			9	20									15	50	22					
<i>Rhodeus uyekii</i>				8	1	1										52						
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>		26													70							
<i>Sarcocheilichthys vari. wakiyae</i>																						
<i>Acheilognathus macropeterus</i>					2	1																20
<i>Microphysogobio</i>		28		3	4	39									101						10	13
<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>				7																	9	6
<i>Pseudogobio esocinus</i>		9		39	9	10	1								9	23	15				21	22
<i>Rhodeus ocellatus</i>						2																3
<i>Acheilognathus rhombeus</i>				2		1																4
<i>Carassius auratus</i>			20	10		6									2	19	4				1	1
<i>Cyprinus carpio</i>				3												2	7					7
<i>Pseudorasbora parva</i>																	10					1
<i>Rhodeus notatus</i>																						11
<i>Squalidus gracilis majimae</i>																						2
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>					2										1							8
<i>Zacco platypus</i>	46	198	30	200	130	139	72								30	137	480	140			230	82
Cobitidae																						
<i>Iksookimia koreensis</i>		15			3	3																15
<i>Cobitis lutheri</i>				2		1																
<i>Misgurnus mizolepis</i>		21		2	1	2									5	2	3				4	1
Bagridae																						
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>				1																		
<i>Pseudobagrus coreanus</i>				1	1	5	1															
Siluridae																						
<i>Silurus asotus</i>						1																
Centropomidae																						
<i>Pungtungia herzi</i>		4		23	30	15									37						13	26
Odontobutidae																						
<i>Odontobutis interrupta</i>				7		6									15	6	3				2	2
<i>Odontobutis platycephala</i>		3		3																		
Gobiidae																						
<i>Rhinogobius brunneus</i>																					10	1
Total number of species	4	8	3	17	13	19	5	3	12	9	16	15	11	10								
Total number of individual	76	289	57	361	285	307	76	115	393	598	306	513	276	265								

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

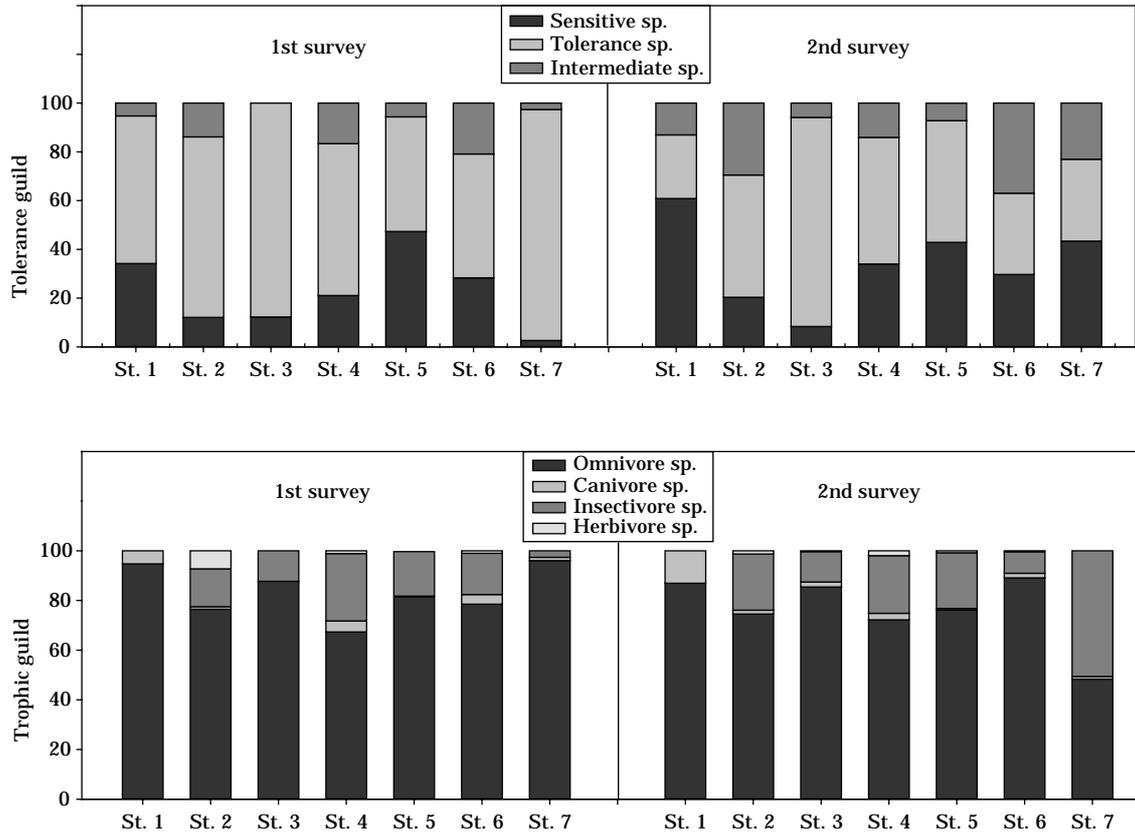


Fig. 2. Tolerance guild and trophic guild in Yoogu Stream.

Table 2. The results of ecological health assessments, based on 10 metric models after Karr (1981) and Barbour *et al.* (1999) in Yoogu Stream. In the text, 1st and 2nd survey, indicate the sampling during the monsoon (July 2005) and postmonsoon (September 2005), respectively.

Sampling site	TNS	RBS	SS	TS	OS	IS	CS	TNI	XT	AI	IBI score (Criteria)	
1st survey	St. 1	4 (5)	2 (5)	1 (1)	61 (1)	95 (1)	0 (1)	5 (5)	76 (5)	0 (5)	0 (5)	34 (G~F)
	St. 2	8 (3)	4 (5)	3 (3)	74 (1)	76 (1)	15 (1)	1 (3)	289 (5)	0 (5)	0 (5)	32 (G~F)
	St. 3	3 (1)	0 (1)	1 (1)	88 (1)	88 (1)	12 (1)	0 (1)	57 (1)	0 (5)	0 (5)	18 (P)
	St. 4	17 (5)	5 (5)	4 (3)	62 (1)	67 (1)	27 (3)	4 (3)	361 (5)	0 (5)	1 (3)	34 (G~F)
	St. 5	13 (5)	4 (3)	5 (3)	47 (1)	81 (1)	18 (1)	0 (1)	285 (5)	0 (5)	3 (1)	26 (F)
	St. 6	20 (5)	7 (5)	6 (3)	51 (1)	79 (1)	17 (1)	4 (3)	307 (5)	0 (5)	0 (5)	34 (G~F)
	St. 7	5 (1)	2 (1)	2 (1)	95 (1)	96 (1)	3 (1)	1 (3)	76 (1)	0 (5)	1 (1)	16 (P)
2nd survey	St. 1	3 (5)	1 (3)	1 (1)	26 (1)	87 (1)	0 (1)	13 (5)	115 (5)	0 (5)	0 (5)	32 (G~F)
	St. 2	12 (5)	4 (5)	4 (3)	50 (1)	75 (1)	23 (3)	2 (3)	393 (5)	0 (5)	3 (3)	34 (G~F)
	St. 3	9 (5)	1 (1)	1 (1)	86 (1)	85 (1)	12 (1)	2 (3)	598 (5)	0 (5)	0 (5)	28 (F)
	St. 4	16 (5)	4 (5)	4 (3)	52 (1)	72 (1)	23 (1)	3 (3)	306 (5)	0 (5)	1 (3)	34 (G~F)
	St. 5	15 (5)	4 (3)	5 (3)	50 (1)	76 (1)	22 (3)	1 (1)	513 (5)	0 (5)	1 (3)	30 (F)
	St. 6	11 (3)	3 (3)	3 (1)	33 (1)	89 (1)	9 (1)	2 (3)	276 (5)	0 (5)	0 (5)	28 (F)
	St. 7	10 (3)	5 (3)	4 (3)	34 (1)	48 (1)	51 (5)	1 (3)	265 (5)	0 (5)	2 (3)	32 (G~F)

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, G=Good, F=Fair, P=Poor

Table 3. Community analysis, based on the species richness index (d), evenness index (J), species diversity index (H), and dominance index (λ) in Yoogu Stream.

Sampling site	S	N	d	J	H	λ	
1st survey	St. 1	4	76	0.693	0.617	0.855	0.485
	St. 2	8	289	1.235	0.584	1.215	0.468
	St. 3	3	57	0.495	0.876	0.963	0.415
	St. 4	17	361	2.717	0.591	1.673	0.336
	St. 5	13	285	2.123	0.610	1.565	0.298
	St. 6	20	307	3.318	0.645	1.932	0.250
	St. 7	5	76	0.924	0.173	0.279	0.898
2nd survey	St. 1	3	115	0.422	0.836	0.918	0.456
	St. 2	12	393	1.841	0.728	1.810	0.219
	St. 3	9	598	1.251	0.371	0.815	0.654
	St. 4	16	306	2.621	0.674	1.869	0.259
	St. 5	15	513	2.243	0.675	1.828	0.251
	St. 6	11	276	1.779	0.768	1.841	0.194
	St. 7	10	265	1.613	0.770	1.773	0.207

S=Total number of native species, N=Total number of individual, d =Margalef's species richness index, J =Pielou's evenness index, H =Shannon-Weaver diversity index, λ =Simpson's dominance index

태”(Fair~Good)로 나타나 2회에 걸친 조사 결과 29.5 (n=7) “보통상태”(Fair)로 나타났다. 지점별 모델값은 1차 조사결과 지점 3과 지점 7은 각각 18, 16로서 “악화~보통상태”(Poor~Fair)에서, 2차 조사결과 각각 28 “보통상태”(Fair)와 32 “보통~양호상태”(Fair~Good)로 상승하였는데, 지점 3은 종수는 3종에서 9종으로, 개체수는 57개체에서 598개체로 큰 상승을 보였고 지점 7도 마찬가지로 종수는 5종에서 10종으로, 개체수는 76개체에서 265개체로 크게 증가하였다. 지점 5는 1·2차 조사결과 각각 26과 30으로 “보통상태”(Fair)로 나타났으며, 지점 6은 1차 조사에는 34 “보통~양호상태”(Fair~Good), 2차 조사에는 28 “보통상태”(Fair)로 나타났으며, 채집된 종수가 각각 20종에서 11종으로 크게 감소하였다(Table 2). 그 외의 지점은 32~34로서 “보통~양호상태”(Fair~Good)로 나타났다(Fig. 4).

4. 일반 수질특성

Fig. 3은 수체 교란기인 1차 조사와 수체 안정기인 2차 조사의 수온(Water temperature), 수소이온농도(pH), 용

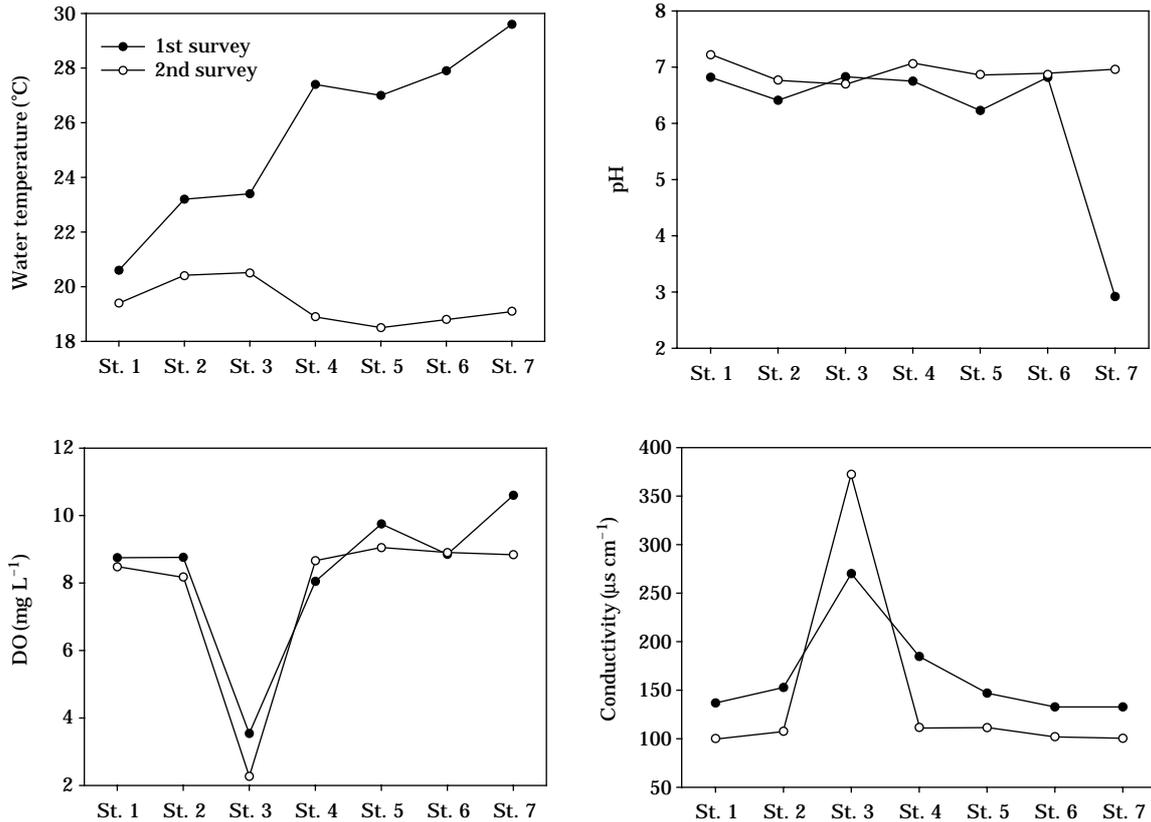


Fig. 3. Temperature, pH, DO and conductivity in Yoogu Stream.

존산소량 (Dissolved oxygen: DO), 전기전도도 (Electric conductivity: EC)의 지점별 변이를 보여준다. 수온은 1차 조사에서 최상류에서 하류로 갈수록 20.6°C에서 29.6°C로 상승하여 9°C의 차이를 보였지만, 2차 조사에서는 전체 지점에서 18.5~20.5°C로 큰 차이를 보이지 않았다. 이와같이 특별한 양상을 보이지 않는 것은 일조량의 차이, 하천의 유량 그리고 하수의 유입 등과 관련이 있을 것으로 사료된다.

수소이온농도는 1차 조사에서 지점 1~6까지 6.23~6.83으로 비슷한 양상을 보였다. 반면 지점 7은 2.92로 강한 산성을 보였으며, 현장에서 독극물 방출이나 공장폐수 등의 특별한 영향원인은 찾을 수 없었다. 2차 조사에서는 6.96으로 측정되어 1차 조사의 낮은 수소이온농도는 일시적인 점오염원의 영향이었을 것이라 사료된다.

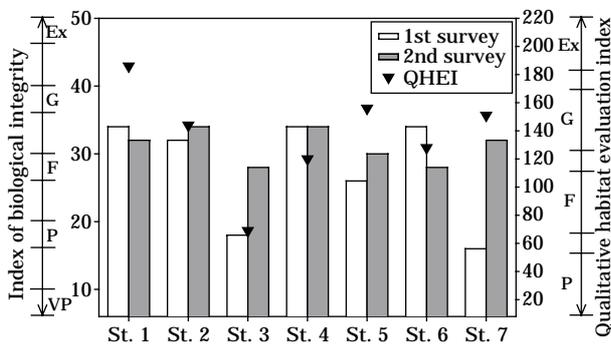


Fig. 4. Index of biological integrity (IBI) and qualitative habitat evaluation index (QHEI) in Yoogu Stream.

용존산소량은 지점 3을 제외한 전체 지점에서 평균 8.36~9.72 mg L⁻¹로 나타난 반면 지점 3은 평균 3.22 mg L⁻¹로 매우 낮게 나타났다. 그리고 이와같은 양상은 전기전도도에서도 볼 수 있었으며, 지점 3을 제외한 전체 지점에서 평균 116.6~148.2 $\mu\text{s cm}^{-1}$ 로 나타났고, 지점 3은 평균 321.25 $\mu\text{s cm}^{-1}$ 로 높게 나타나 인근 생활하수 유입의 영향이 뚜렷한 것으로 나타났다.

5. 물리적 서식지 지수 (Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI)

본 연구에서 적용한 물리적 서식지 평가지수에 따르면, 일부지점에서 점오염원에 의한 서식지 교란이 뚜렷하게 나타났다. 7개 지점에 대한 평균값은 136으로 “보통~양호상태” (Fair~Good)로 나타났으며, 지점별 QHEI 값은 지점 1에서 186으로 연구지점 중 가장 좋은 “최적상태” (Excellent)로 나타났고, 지점 3은 69로서 “보통상태” (Fair), 지점 4는 120으로서 “보통~양호상태” (Fair~Good)로 나타났으며, 그 외의 지점은 128~156으로 “양호상태” (Good)로 나타났다 (Table 4).

최상류인 지점 1은 물리적 서식지 측면에서 전체 메트릭에서 다른 지점에 비해 높은 점수를 부여받아, “최적상태”로서 가장 서식 조건이 양호한 것으로 나타났다. 지점 3의 경우 하상구조가 단순화 되고, 제방 식생의 악화되어 있으며, 침전물의 과다 침적으로 인해 물리적 서식지 측면에서 다른 지점에 비해 크게 악화된 것으로 나타났다. 2차 조사결과 악화된 물리적 서식지가 장마기간 상류로

Table 4. Qualitative Habitat Evaluation Index (QHEI) based on 11 metric attributes after An and Kim (2005) in Yoogu Stream.

Variables		St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7
M ₁	Epifaunal substrate/Available cover	20	16	3	11	18	16	16
M ₂	Embeddedness	20	16	3	8	16	8	16
M ₃	Velocity/Depth combination	16	13	5	10	11	15	16
M ₄	Sediment deposition	20	16	8	13	16	13	16
M ₅	Channel flow status	20	18	11	13	18	13	11
M ₆	Channel alteration	16	11	8	11	11	10	13
M ₇	Frequency of riffles or bends	11	8	3	10	5	5	10
M ₈	Bank stability							
	Left bank	9	7	5	6	9	7	7
M ₉	Bank vegetative protection							
	Left bank	10	7	5	9	9	9	9
M ₁₀	Riparian vegetative zone width							
	Right bank	10	7	4	9	9	7	8
M ₁₁	Dam construction effect							
	Left bank	8	6	2	4	9	5	5
	Right bank	9	6	2	4	10	7	7
Total score		186 (E)	144 (G)	69 (F)	120 (F~G)	156 (G)	128 (G)	151 (G)

E=Excellent, G=Good, F=Fair

부터 침적되었던 유기물들이 장마 후 유기물 유실로 인하여 인근 생활하수 유입지점으로부터 10 m 하류부터는 장마기간보다 양호해짐으로서 생물학적 건강도 지수가 증가하였다. 그러나 인근 생활하수 유입지점의 서식지 건강도는 여전히 매우 악화된 상태였다.

고 찰

본 연구결과에 따르면, 유구천의 생물학적 건강도 지수는 일부 지점을 제외하고, 물리적 서식지 평가 지수와 거의 일치하는 결과를 나타냈다. 이는 생물학적 지수가 물리적 서식지 지수를 잘 반영하고 있다는 것을 보여주는 결과로 사료된다(Fig. 4). 최상류 1차 하천인 지점 1의 생물학적 건강도 평가 결과, 잡식종인 버들치와 피라미가 약 91%로 채집어류의 대부분을 차지하고 있고 내성종인 피라미가 아우점종으로 나타나는 등 섭식특성과 내성도 측면에서 낮은 점수를 보였다. 그러나 전체 조사지점 중 서식지 상태가 가장 양호하였고, 하천차수에 따라 차등 평가가 이루어지는 IBI 메트릭 특성에 따라 1차 하천인 지점 1의 생물학적 건강도는 “보통~양호상태”(Fair~Good)를 기록하여 다른 지점과 비슷한 수준으로 나타났다. 이는 생물학적 건강도 평가가 하천규모에 따른 변이와 물리적 서식지 역시 반영한다는 것을 보여준다.

지점 3은 생활하수에 의하여 다량의 유기물이 유입되고 있었으며, 이로 인한 용존산소량 감소(2.91 mg L^{-1}), 전기전도도 상승($321.25 \mu\text{s cm}^{-2}$), 심한 악취 등을 동반하여 이·화학적 수질의 악화가 심각한 지점으로 나타났다. 또한 하상이 검은 침적토로 구성되는 등 물리적 서식지 역시 악화되어 있는 것으로 나타났다. 이는 가장 낮게 나타난 지점 3의 생물학적 건강도에 이·화학적 수질과 물리적 서식지 지수 등 하천에 영향을 미치는 모든 요인들을 반영하는 좋은 사례라 할 수 있다(조 등, 2000; 강 등, 2000).

지점 7은 1·2차 조사의 생물학적 건강도에서 큰 차이를 보였다. 비교적 양호한 서식지 평가값(151)을 기록하였지만, 1차 조사당시 알 수 없는 요인에 의하여 pH값이 2.92를 기록함에 따라 생물학적 건강도가 “악화상태”(Poor)를 나타낸 것으로 사료된다. 몬순 강우기(풍수기)에 많은 유량과 빠른 유속이 상류에 서식하던 개체들을 하류로 이동시키고, 인공보의 영향으로 다시 상류로 이동하지 못한 개체들로 인해 갈수기인 2차 조사에서의 생물학적 건강도가 “보통~양호상태”(Fair~Good)로 상승한 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 금강 수계의 유구천 7개 지점을 선정하여 2005년 7월과 9월, 2회에 걸친 조사기간 동안의 생물통합지수(Index of Biological Integrity, IBI) 모델분석 및 물리적 서식지 지수(Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI) 분석을 실시하였다. 생태 건강도 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. 유구천의 생물통합지수는 평균 29.5(n=7)로서 “보통상태”(Fair)로 나타났으며, 지점별 모델값은 지점 3과 지점 7은 각각 23과 24로서 “악화~보통상태”(Poor~Fair), 지점 5는 28로 “보통상태”(Fair)로 나타났으며, 그 외의 지점은 31~34로서 “보통~양호상태”(Fair~Good)로 나타났다. QHEI 분석에 따르면, 7개 지점에 대한 평균값은 136으로 “보통~양호상태”(Fair~Good)로 나타났으며, 지점별 QHEI 값은 지점 1에서 186으로 “최적상태”(Excellent), 지점 4는 120으로서 “보통~양호상태”(Fair~Good), 지점 3은 69로서 “보통상태”(Fair)로 나타났으며, 그 외의 지점은 128~156으로 “양호상태”(Good)로 나타났다. 최상류인 지점 1이 물리적 서식지 측면에서 가장 서식 조건이 양호한 것으로 나타났고, 지점 3의 경우 물리적 서식지 측면에서 다른 지점에 비해 악화된 것으로 나타났고, 인근 생활하수 유입에 의한 유기물 과다 유입에 의한 것으로 나타났다.

인 용 문 헌

- 강창민, 이상명, 엄준식, 이정희, 이호원, 홍춘표. 2000. 대전시 3대 하천의 수질 및 식물플랑크톤상에 관한 연구. 한국환경과학회지 9(4): 275-284
- 공동수. 2002. 생물학적 수질기준 설정 필요성 및 접근방안, 환경생물 20(1): 38-49.
- 김익수, 박종영. 2002. 원색도감 한국의 민물고기, 교학사.
- 김익수, 최 윤, 이충렬, 이용주, 김병직, 김지현. 2005. 원색 한국어류대도감. 교학사.
- 김종홍, 조현욱, 한원동, 이완옥. 1993. 보성강 유역의 생태계 변화에 따른 어류군집 변화. 환경생물 11(2): 154-160.
- 박준우, 황명기, 어성준, 최신석, 정평림. 2001. 강원도 평창강 일대 저서성 대형무척추동물의 군집구조 및 수질의 생물학적 평가, 환경생물 19(2): 119-128.
- 안광국, 김자현. 2005 물리적 서식지평가기법 및 어류 다변수

- 평가모델에 의거한 대전천의 생태학적 건강도 진단. *육수지* **38**(3): 361-371.
- 안광국, 신인철. 2005. 산간 계류성 하천의 계절적 수질변동에 대한 몬순강우의 영향. *육수지* **38**(1): 54-62.
- 안광국, 염동혁, 이성규. 2001. 생물보전지수 (Index of Biological Integrity)의 신속한 생물평가 기법을 이용한 갑천수계의 평가. *환경생물* **19**(4): 261-269.
- 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.
- 염동혁, 안광국, 홍영표, 이성규. 2000. 어류군집을 이용한 금호강의 생물보전지수 (Index of Biological Integrity) 평가. *환경생물* **18**(2): 215-226.
- 이충렬. 2001. 갑천수계의 어류상과 어류군집. *환경생물* **19**(4): 292-301.
- 장준호, 홍영희. 2004. 양재천 친수환경정비사업의 평가에 관한 연구. *한국지역사회발전학회* **29**(2): 211-223.
- 조홍제, 이병호, 이근배. 2000. 도시하천 하상퇴적토의 특성에 관한 연구. *대한토목학회지* **20**(4): 607-618.
- 최기철. 2001. 쉽게 찾는 내 고향 민물고기, 현암사.
- 최철만, 박연규, 문성기. 2004. 인공기질 부착조류에 의한 대전천 수질평가. *환경생물* **22**(1): 242-245.
- 환경부. 2004. 자연형 하천 정화추진사례. 112pp.
- An, K-G. 2001. Seasonal patterns of reservoir thermal structure and water column mixis and their modifications by interflow current, *Korean J. Limnol.* **34**(1): 9-19.
- An, K-G. 2000. The impact of monsoon on seasonal variability of basin morphology and hydrology, *Korean J. Limnol.* **33**(4): 342-349.
- An, K-G., Y.P. Hong, J.K. Kim and S.S. Choi. 1992. Studies on zonation and community analysis of freshwater fish in Kum-river, *Korean J. Limnol.* **25**(2): 99-112.
- 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.
- Judy RD, Jr. PN Seeley, TM Murray, SC Svirsky, MR Whitworth and LS Ischinger (1984) National Fisheries Survey. Vol. 1. Technical Report : initial findings. United States Fish and Wildlife Service. FWS/OBS-84/06.
- Karr, J.R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* **6**: 21-27.
- Karr, J.R. and M. Dionne. 1991. Designing surveys to assess biological integrity in lakes and reservoirs, in biological criteria; Research and Regulation-Proceedings of a symposium. p. 62-72. U.S. EPA, Office of Waters, Washington, D.C., EPA-440/5-91-005, U.S.A.
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.* **3**: 36-71.
- 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.
- Pielou, E.C. 1975. Ecological diversity. Wiley. New York. 165pp.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* **163**: 688pp.
- Strahler, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *American Geophysical Union Transactions* **38**: 913-920.
- 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.
- US EPA. 2002. Summary of biological assessment programs and biocriteria development for states, tribes, territories, and interstate commissions: streams and wadeable rivers. EPA-822-R-02-048. US EPA, USA.

(Manuscript received 26 May 2006,
Revision accepted 16 July 2006)