

# 낙동강 상류 수계의 어류 군집 구조 분석 및 생태건강도 평가

이 재 훈 · 홍 영 표<sup>1</sup> · 안 광 국\*

(충남대학교 생명과학과, <sup>1</sup>국립중앙과학관 자연사연구팀)

Fish Community Structure Analysis and Ecological Health Assessments in the Headwater Watershed of Nakdong River. Lee, Jae-Hoon, Young-Pyo Hong<sup>1</sup> and Kwang-Guk An\* (School of Bioscience and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea; <sup>1</sup>Department of Natural History, National Science Museum, Daejeon 305-705, Korea)

The purpose of the study was to evaluate fish community, based on conventional Shannon-Weaver diversity index ( $H'$ ), and ecological health, based on the Index of Biological Integrity (IBI) using fish assemblage in the eight sites of Nakdong River during June~August 1999. Total number of species sampled was 19 species, and two sensitive species of *Zacco temminckii* (51%) and *Rhynchocypris oxycephalus* (28%) dominated the fish community. Also, trophic guild analyses showed that insectivore was 87% of the total and omnivore was rare, indicating that the ecological health is well maintained in the system. The pattern of spatial variation in the diversity index ( $H'$ ) was very similar to patterns of the species number and individual number, whereas the pattern of  $H'$  was not matched with the tolerance and trophic guild data. The diversity index ( $H'$ ) showed highest (1.56) in Site 6 where the proportion of sensitive species and tolerant species was minimum and maximum, respectively, and where the insectivore and omnivore were minimum and maximum. In other words, the diversity index was not matched at all with the trophic and tolerant guilds, indicating that the conventional index did not reflect the ecological characteristics of fish community in the system. In the mean time, the ecological health (IBI) averaged 33.5 (n=8), indicating "good~fair condition", and the IBI values matched with trophic and tolerance guilds. Maximum IBI occurred in Site 2 where the sensitive and insectivore species were nearly maximum, and the tolerant and omnivore species were almost minima, indicating that IBI values were closely associated with the ecological functions and health conditions. Overall data suggest that the conventional diversity index may not effective for a evaluation of fish community, and that in contrast the IBI approach may be a useful tool for diagnosis of stream community.

Key words : diversity index, ecological health, IBI, sensitive species

## 서 론

낙동강은 강원도 태백에서 발원하여 남해로 유입되는

남한에서 가장 긴 강으로 식수, 농업·공업용수 공급을 위한 수자원의 중요성 때문에 다양한 수생물 조사 및 수환경요인조사가 진행되어 왔다. 수생물 중 어류는 수생태계 내 가장 높은 생태학적 지위를 차지하고 수환경 특성

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

과 밀접한 관계가 있어서 많은 연구가 보고되고 있다. 낙동강의 어류에 대한 군집수준(Community level)의 연구는 주로 분류, 지류, 혹은 소하천 등의 수계중심으로 이루어져 왔으며, 조사의 대부분은 어류상, 군집지수 분석, 어류의 지표종 특성에 대한 내용이 주류를 이루고 있다(양, 1973; 채 등, 1998; 강 등, 2004). 한편, 낙동강 수계에서 개체군 수준(Population level)의 특징중에 대한 연구로는 흰수마자(전과 손, 1983), 수수미꾸리(김과 이, 1995), 끄리(전, 1999) 등이 보고된 바 있다. 한편, 이화학적 수질과 관련한 연구로는 낙동강 지류와 본류의 수질특성 및 시공간적 역동성에 대해 보고하고 있다(김 등, 2002; 박 등, 2002). 이런 다양한 연구에도 불구하고, 주로 생물종 분포특성, 군집 및 개체군의 종 다양도, 밀도분석 및 이화학적 단순 수질평가들이 주류를 이루고 있으며, 수생태계의 건강성에 대한 연구는 최근 금호강(권과 안, 2006)에 대한 연구 보고 이외에는 극히 미미하다.

국제적인 연구동향에 따르면, 1970~90년대 초반까지 수환경 평가에서는 이화학적인 평가가 주류를 이루었으나, 빈번한 수질오염 및 서식지 파괴에 의한 생태계 교란으로 하천 생태계 건강성 평가에 대한 연구가 다각적으로 진행되고 있다(안 등, 2005). 미국 환경부(US EPA)에서는 다양한 생물군을 이용한 다변수 생물 지표지수를 도입해 수생태계를 평가하고 진단하는 기법(Index of Biological Integrity, IBI)이 수계관리에 실효를 거두고 있으며, 이런 기법에 기반을 두어 우리나라에서는 현재까지 한강 수계(안 등, 2001b), 금강 수계(안 등, 2001a; 안과 김, 2005; 안 등, 2005; 배와 안, 2006) 및 낙동강 수계(권과 안, 2006) 등에 적용하여 생태계 건강성을 평가하고 있다. 한편, 우리나라에서는 2003~6년까지 물환경 종합평가의 일환으로 개발된 “물환경 종합평가방법 개발 조사연구(환경부, 2004, 2005)”를 통하여 어류에 의한 건강성 평가(안 등, 2006)가 소개되면서 생태계 건강성 평가에 대한 정부의 역할이 크게 강화되고 있다. 수체 내 다양한 생물군을 이용한 생물학적인 수환경 평가기법은 수환경을 진단하는데 필요한 핵심기법으로서 지속적인 모니터링을 통하여 하천생태계를 진단하고 복원하는데 중요자료로 활용될 수 있다.

낙동강에 대한 그동안의 다양한 연구와 생태 건강성 평가의 상기의 의의에도 불구하고, 최상류 지역에 대한 어류군집 및 이를 이용한 건강성평가에 대한 연구는 극히 미미하고 또한 기존의 연구도 전통적인 연구방법에만 의존했기에, 본 연구에서는 어류 군집을 이용하여 다변수 어류모델(Multi-metric fish model)을 통한 생태 건강도를 평가 진단하고, 전통적인 군집지수 분석법을 본 연구

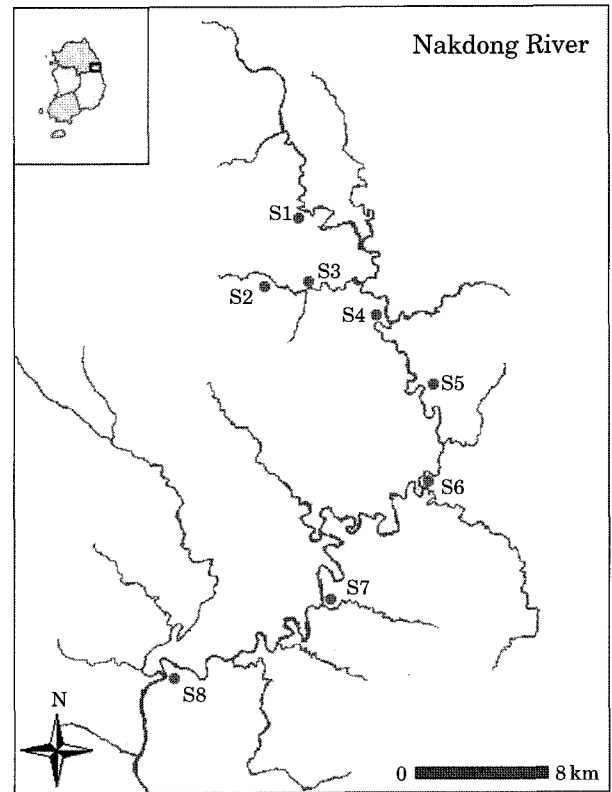


Fig. 1. Map showing each sampling site.

에서 도입된 다변수 모델과 비교 평가하여 각지의 특성을 규명하고 그 효율성을 밝히고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사기간 및 조사지점

어류 조사는 1999년 6월과 8월, 2차례에 걸쳐서 실시하였고, 강원도 태백시 장성동을 시작으로 경북 봉화군 명호면까지의 낙동강 수계 최상류지역, 8개 조사지점을 선정하였다(Fig. 1). 본 연구 대상지점인 조사지점(Site, 이하 S로 표기) 1은 강원도의 행정구역상의 지점이며 나머지 7개 지점들은 행정구역상 경상북도에 속한다. S1은 낙동강의 발원지로 알려진 황지에서 유입되는 황지천, S2~S3은 백천계곡에서 발원하여 낙동강으로 유입되는 지류이며 S4~S8까지의 지점은 낙동강 본류로 구분된다.

- S1. 강원도 태백시 장성동
- S2. 봉화군 석포면 대현리 백천동
- S3. 봉화군 석포면 대현리 대현교
- S4. 봉화군 석포면 석포리 육송정

- S5. 봉화군 석포면 승부리
- S6. 봉화군 소천면 분천2리
- S7. 봉화군 소천면 임기리 두음교
- S8. 봉화군 명호면 도천리 갈래위

## 2. 조사방법

어류의 채집은 각 조사지점의 특성에 따라 투망(망목, 5×5 mm), 족대(망목, 5×5 mm), 뜰채(망목, 2×2 mm)를 사용하였고, 정량적 조사를 수행하기 위하여 조사지점별로 투망은 10회씩 동일하게 투척하였다. 현장에서 채집된 어류로서 분류 동정이 가능한 종은 현장에서 종 목록을 작성한 후 즉시 방류하였으며, 채집 어류 중 분류, 동정이 모호한 표본은 10% 포르말린 용액에 고정하여 실험실에 운반한 후 동정하였다. 어류의 동정은 김과 강(1993) 등의 검색표에 의거하였고, 종 목록은 민감종, 중간종, 내성종의 순서로 기술하여 종 특성을 평가했다.

미국 환경부에서 개발된 Barbour *et al.* (1999)의 채집 기법인 Wading method 및 안 등(2006)의 채집기법에 따르면, 조사지점은 상, 하류 각각 100 m 구간에서 60분씩 실시하며, 조사구획 내의 소(Pool), 여울(Riffle) 및 흐름이 있는 곳(Run)을 모두 포함하여 조사하고 있는데, 본 연구에서 채집 소요시간은 약 50분 내외가 소요되었고, 지점당 투망투척을 위해 이동한 거리 역시 150 m 이상이었고 또한 투망 투척지점도 소, 여울, 흐름이 있는 곳을 모두 포함하였다. 이런 현장조사는 현재 생태건강도 평가 방법에서 이용되는 전기충격기를 배제하였기 때문에 처리된 자료에 일부 과소평가가 있을 가능성도 있다고 사료된다.

## 3. 생물학적 건강도 모델 평가 및 군집분석

현장 채집된 어류를 기반으로 한 생태건강도 지수(IBM) 산정은 Barbour *et al.* (1999)의 기준을 모체로 하였으며, 안 등(2005)에 의하여 국내 환경에 맞게 수정 보완된 10개 다변수 매트릭 모델(Multimetric model)을 이용하였다. 본 연구에서 이용된 매트릭 속성, 모델의 세부적 특성 및 모델값 산정방법 등은 안 등(2001b, 2005)의 연구에서 자세히 기술되었다. 한편, 상기모델을 이용한 생태건강도 값은 전통적으로 널리 이용 되어온 군집지수분석 결과와 비교 평가하였다. 군집우점도 지수는 Simpson (1949), 종풍부도 지수는 Margalef (1958), 종다양도 지수는 Shannon and Weaver (1963), 균등도 지수는 Pielou (1975)의 군집지수 산정식을 이용하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 물리적 하천구조

본 연구에서 수행된 8개의 조사지점들은 하천차수(Stream order)기준에 의거할 때 3~5차 하천으로 구성되었다(Table 1). 본 하천에서 장마 전후 2회 조사에서 천변은 대부분 지점에서 자연식생 및 숲이 잘 발달되어 있었지만, 비점오염원으로부터 고탁수 유입으로 무기성 부유물의 뚜렷한 증가를 보였다. 8개의 조사지점 중 2개 지점(S7, S8)을 제외하고는 탁수유입이 육안으로도 분명했고, 특히 S1에서는 극히 높은 탁수를 보였는데 이는 태백시 폐광산으로부터 유입되는 흙탕물과 인근지역 태백시의 하수 유입에 의한 것으로 나타났다. 하상은 주로 암석(Rock)과 자갈(Pebble)로 이루어져 있으나, S2, S4~S8은 비교적 암반(Rock)이 80% 이상의 하상을 이루고 20% 이하가 자갈이 산재하는 전형적인 산간계류형의 하천으로 나타났다. S2는 백천계곡의 전형적인 산간계류형 하천이지만 인근 사찰의 보수공사가 탁수의 주요원인이었고, S5는 인근 아연제련소 및 비점오염원 유출수가 주요 원인으로 사료되었다. 각 조사지점에 대한 개략적인 물리적인 특징은 Table 1과 같다.

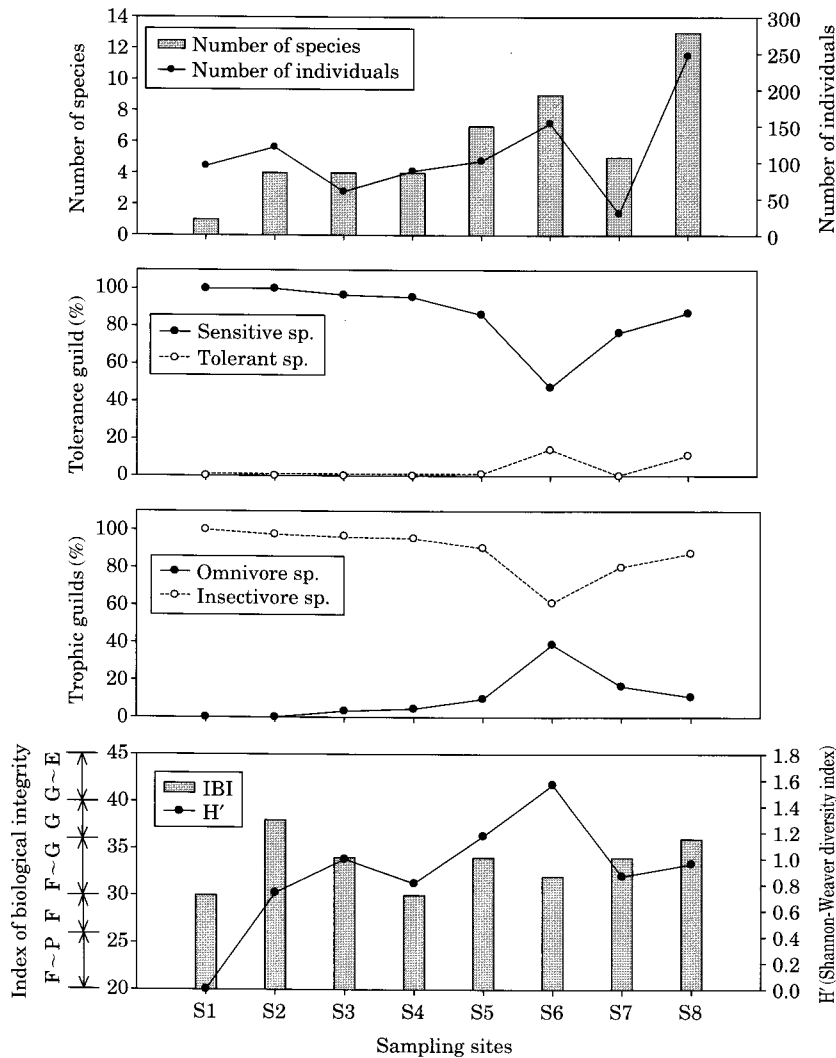
### 2. 어류 분석

본 연구 기간 동안 채집된 어종은 총 19종 897개체로서, 조사지점에 따라 종수는 1종에서 13종, 개체수는 30에서 247개체까지 다양하게 채집되어 산간 계류형 하천임에도 불구하고 지점별 종수 및 개체의 차이가 뚜렷하게 나타났다(Fig. 2). 각 지점별 어류상 및 생태적 길드 분석 결과는 Table 1과 같다. 채집된 어종 중 잉어과(Cyprinidae)는 11종(58%), 864개체(96%)로 가장 높았으며, 주요 우점종의 상대풍부도는 갈겨니 51%, 버들치 28%, 돌마자 7% 등의 순으로 나타났다. 채집된 종 중 한국 고유종은 꺾지 외 8종으로써 42%를 차지하여 비교적 높은 빈도를 보였다. 고유종의 존재는 해당 지역의 생물상을 특징짓는 기준이 되며(전, 1980), 서식지의 수환경 상태가 악화되면 급격히 감소하는 경향을 보이는데(최 등, 2000), 본 연구 대상 지역에서는 한반도의 평균적인 고유종 빈도인 23%(남, 1996)를 훨씬 상회하고 있으며, 낙동강 유역에서 고유종이 50% 출현하고 있음을 보고한 바 있는데(양, 1973) 본 조사에서도 이와 유사한 결과를 보였다. 이는 조사지역에서 비록 토사 유입에 의한 탁도 증가에도 불구하고 서식지가 주로 자갈이나 암석 등

Table 1. Physical habitat, Fish fauna and various guild analysis in the sampling sites.

| Species                                   | Tolerance guild | Trophic guild | Habitat guild | Site  |       |         |       |       |       |       |       |       |         | Total RA (%) |         |       |  |
|---|-----------------|---------------|---------------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|--------------|---------|-------|--|
|   |                 |               |               | S1    | S2    | S3      | S4    | S5    | S6    | S7    | S8    |       |         |              |         |       |  |
|   |                 |               |               | SO    | HW    | BS      | C     | S1    | S2    | S3    | S4    | S5    | S6      | S7           | S8      |       |  |
|   |                 |               |               | 20~30 | 10~20 | 15~20   | 20~30 | 20~30 | 10~20 | 15~20 | 20~30 | 20~30 | 20~30   | 20~30        | 20~30   | 20~30 |  |
|   |                 |               |               | S, P  | R, P  | P, S, R | R, P  | R, P  | R, P  | R, P  | R, P  | R, P  | R, P, S | P            | R, P, S |       |  |
|   |                 |               |               | VT    | T     | T       | T     | T     | T     | T     | T     | T     | T       | T            | C       |       |  |
| <i>Zacco temminckii</i>                   | S               | I             | -             | 0     | 29    | 32      | 66    | 49    | 68    | 22    | 193   | 459   | 51.2    |              |         |       |  |
| <i>Rhynchocypris oxycephalus</i>          | S               | I             | -             | 95    | 87    | 22      | 12    | 38    | 0     | 0     | 0     | 254   | 28.3    |              |         |       |  |
| <i>Pungtungia herzi</i>                   | S               | I             | RB            | 0     | 0     | 0       | 6     | 0     | 4     | 1     | 9     | 20    | 2.2     |              |         |       |  |
| <i>Liobagrus mediadiposalis</i> *         | S               | I             | RB            | 0     | 2     | 4       | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 8     | 0.9     |              |         |       |  |
| <i>Coreoleuciscus splendidus</i> *        | S               | I             | RB            | 0     | 0     | 0       | 0     | 1     | 1     | 0     | 6     | 8     | 0.9     |              |         |       |  |
| <i>Brachymystax lenok tsinlingensis</i> ° | S               | C             | RB            | 0     | 3     | 0       | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 3     | 0.3     |              |         |       |  |
| <i>Coreoperca herzi</i> *                 | S               | C             | RB            | 0     | 0     | 0       | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 2     | 0.2     |              |         |       |  |
| <i>Plecoglossus altivelis</i>             | S               | H             | -             | 0     | 0     | 0       | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0.1     |              |         |       |  |
| <i>Koreocobitis rotundicaudata</i> *      | S               | O             | RB            | 0     | 0     | 0       | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0.1     |              |         |       |  |
| <i>Hemibarbus labeo</i>                   | S               | I             | -             | 0     | 0     | 0       | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0.1     |              |         |       |  |
| <i>Microphysogobio yaluensis</i> *        | I               | O             | RB            | 0     | 0     | 2       | 4     | 9     | 42    | 5     | 0     | 62    | 6.9     |              |         |       |  |
| <i>Cobitis sinensis</i>                   | I               | I             | RB            | 0     | 0     | 0       | 0     | 3     | 12    | 1     | 0     | 16    | 1.8     |              |         |       |  |
| <i>Pseudogobio esocinus</i>               | I               | I             | -             | 0     | 0     | 0       | 0     | 1     | 5     | 0     | 5     | 11    | 1.2     |              |         |       |  |
| <i>Lampetra reissneri</i> •+              | I               | F             | -             | 0     | 0     | 0       | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0.1     |              |         |       |  |
| <i>Odontobutis platycephala</i> *         | I               | C             | RB            | 0     | 0     | 0       | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0.1     |              |         |       |  |
| <i>Zacco platypus</i>                     | T               | O             | -             | 0     | 0     | 0       | 0     | 1     | 13    | 0     | 19    | 33    | 3.7     |              |         |       |  |
| <i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i> *  | T               | O             | -             | 0     | 0     | 0       | 0     | 0     | 5     | 0     | 6     | 11    | 1.2     |              |         |       |  |
| <i>Squalidus gracilis majimae</i> *       | T               | I             | -             | 0     | 0     | 0       | 0     | 0     | 4     | 0     | 0     | 4     | 0.4     |              |         |       |  |
| <i>Carassius auratus</i>                  | T               | O             | -             | 0     | 0     | 0       | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0.1     |              |         |       |  |
| Total number of species                   |                 |               |               | 1     | 4     | 4       | 4     | 7     | 9     | 5     | 13    | 19    |         |              |         |       |  |
| Total number of individual                |                 |               |               | 95    | 121   | 60      | 88    | 102   | 154   | 30    | 247   | 897   | 100     |              |         |       |  |

SO: Stream order, HW: Hydraulic width (m), BS: Bottom structure (P: Pebble, R: Rock, S: Sand), C: Clarity (by eve, C: Clear, T: Turbid, VT: Very turbid), RA: Relative abundance, ★: Endemic species, ●: Endangered species, ○: Natural monument, +: Landlock species, Tolerance guild (S: Sensitive, I: Intermediate, T: Tolerant), Trophic guild (I: Insectivore, O: Omnivore, C: Carnivore, H: Herbivore, F: Filter feeder), Habitat guild (RB: Riffle benthic)



**Fig. 2.** Fish fauna, tolerance guilds, trophic guilds, Index of biological integrity (IBI) and Shannon-Weaver diversity index (H') in the sampling sites.

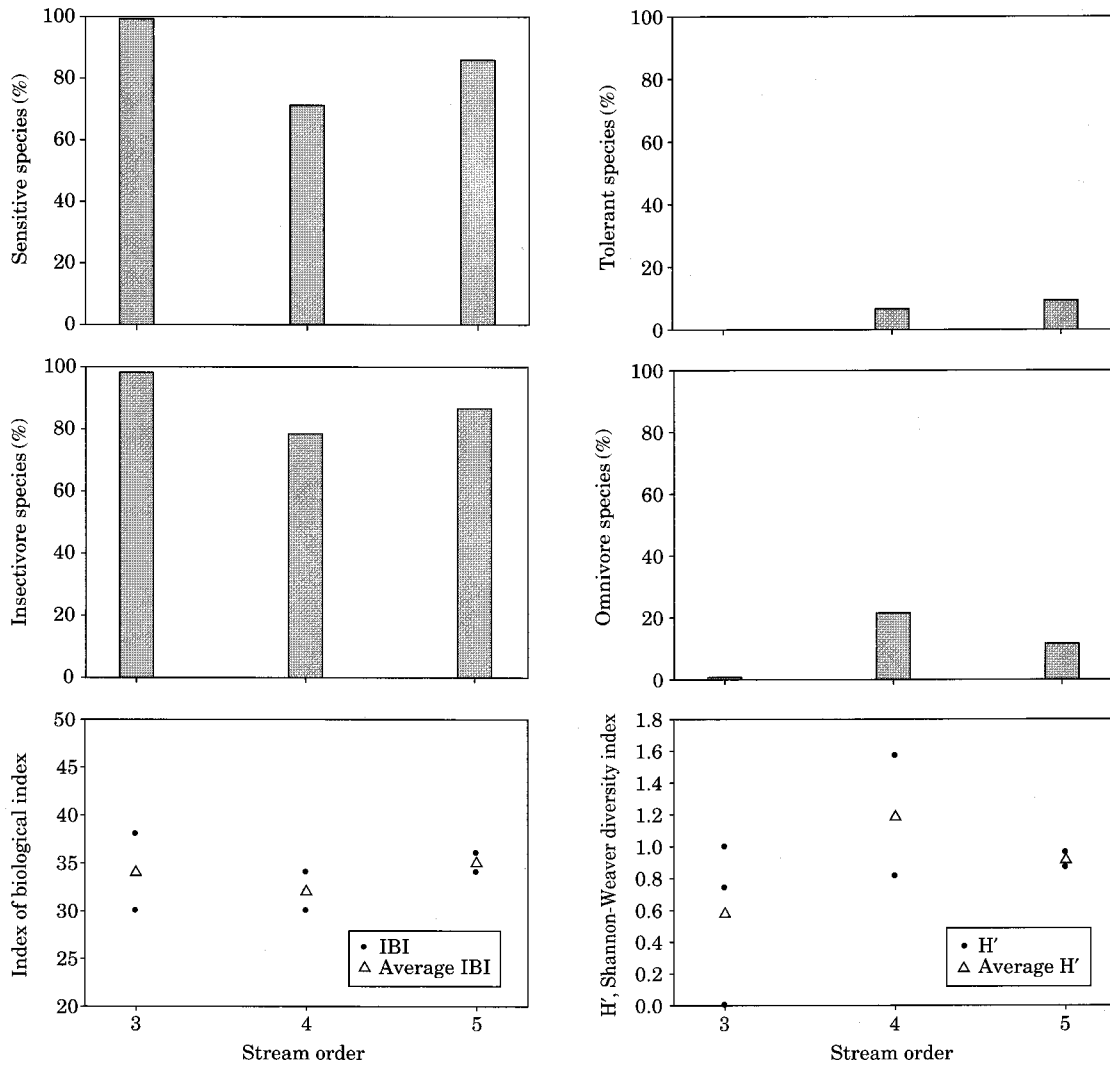
으로 형성된 여울 수의 우점, 토지이용도 측면에서 산림 우점, 빠른 유속 및 하절기에 저수온을 보이는 산간계류형 어류분포특성을 잘 보여주고 있었다. 본 조사에서는 천연기념물인 열목어가 S2에서, 환경부 멸종위기야생동식물 2급에 지정되어 있는 다목장어가 S8에서 출현하여 종 보존을 위해 서식지보호가 필요한 것으로 사료되었다.

### 3. 생태 지표 특성종 분석

내성도 길드(Tolerance guild)에 따른 개체수 분석에 의하면, 민감종은 84%로 나타났고, 내성종은 5%로 나타나 민감종의 월등한 우세현상을 보였다. Barbour *et al.*

(1999)의 기존 연구에서 하천생태계 내 내성종의 개체수 및 종수는 유기물 오염, 서식지 파괴 등의 서식지의 물리·화학적 질적 하강에 따라 증가하는 경향을 보이는 것으로 보고하고 있는데, 본 연구지점에서 낮은 내성종 빈도는 생태계 교란이 비교적 적은 상태임을 제시하였다. 따라서 본 연구지역에서의 탁수로 인한 서식지 교란은 일시적인 것으로 사료되었으며 비교적 하천이 잘 보존된 것으로 나타났다.

한편, 트로픽 길드(Trophic guild) 분석에 따른 개체수 분석에 의하면, 충식종(Insectivore)은 87%, 잡식종(Omnivore)은 12%로써 충식종의 우점현상을 보였다. 특히 민감성 어종은 전체 8개 조사지점 중 6개 지점에서 80% 이상 출현하였고, 충식성 어종도 7개 지점에서 80% 이상



**Fig. 3.** Relative abundance of sensitive, tolerant, insectivore, omnivore species, Index of biological integrity (IBI) and Shannon-Weaver diversity index ( $H'$ ) over the stream order.

출현하고 있는 것으로 나타나 트로픽 길드도 내성도 길드의 특성을 잘 반영하였다. 외래종은 본 조사에서 전혀 출현하지 않았고, 외부로부터의 종 유입 또한 잘 차단되어 있어 기존의 타 수계들에서의 연구 결과와는 뚜렷한 차이를 보였다. 각 조사지점에 따른 내성도 및 트로픽 길드 분석에 따르면, S6을 제외한 모든 조사지점에서 민감종(70% 이상), 충식종(80% 이상)이 우세하였고 S6에서는 민감종과 중간종이 각각 47%, 38%로 나타났으며, 잡식종이 39%로 출현하고 있었다. S6에 대한 이런 결과는 인근에 축사와 농경지로부터의 유출수가 원인으로 사료되며, 나머지 지점에서는 내성종 및 잡식종의 출현빈도가 아주 낮았고, 민감종 및 충식종 어종의 상대빈도가 아주 높아

탁도가 높음에도 생태계가 잘 보존된 것으로 사료된다.

#### 4. 하천차수 (Stream order)에 따른 내성도 및 트로픽 길드 분석

어류의 내성도 특성의 분석결과에 따르면, 민감종의 비율은 3차, 4차, 5차하천 모두에서 70% 이상 높게 나타났고, 이에 비해 내성종의 비율은 10% 이하로 미미하게 나타났다(Fig. 3). 또한 섭식에 따른 트로픽 길드 분석에 따르면, 충식종(Insectivore)이 약 80% 정도로 하천차수에 관계없이 나타났으며, 잡식종의 비율은 4차 하천에서 21%로 일부 나타났으나 전체적으로는 비교적 낮게 나타

났다. Barbour *et al.* (1999)의 연구에 따르면, 하천차수가 증가되면서 수생태계의 유기물오염 및 독성물질의 유입 증가가 일반적이며, 이런 이유로 해서 어류의 섭식특이성을 단순화시켜 하천차수의 증가에 따라 잡식종 우점현상을 보여 수계 건강도를 악화시킨다고 보고한 바 있다. 그러나, 본 연구에서 얻은 결과는 하천의 차수가 증가하여 하천의 크기가 커져도 오염종의 감소 및 잡식종의 증가를 보이지 않고 하천차수와 관계 없이 비슷한 결과를 나타내는 이유는 본 연구대상 수계의 경우 이화학적 수질 오염 및 수계교란이 미미하고 산간계류형의 서식지가 비교적 잘 보존되어 있음을 제시하는 바이다.

### 5. 어류 군집분석 (Community analysis)

전통적으로 가장 흔히 이용된 군집분석 기법에 따르면, S1의 경우, 채집된 어종이 버들치 1종이므로 우점도 지수(Simpson's dominance index)가 1로 최고치를 보인 반면, 종다양도 지수(Shannon-Weaver diversity index)와 균등도 지수(Pielou's evenness index)는 0으로 최저치를 보였다. 다른 조사지점의 경우 지점 S6은 다양도 지수는 1.56으로 최대치를 보였고, 또한 균등도 지수(Margalef's species richness index)도 0.71로 최대치에 근접하게 나타났는데, 이는 인근 농경지와 축사로 부터의 유출수로 인해 다른 지점에 비해 내성종 및 잡식종 비율이 증가하여 다양한 어종이 채집되었기 때문으로 사료된다.

### 6. 하천 생태건강도 (Ecological health) 및 종다양도 지수의 비교

본 조사를 통해 채집된 어류를 이용하여 안 등(2005)에 의한 생태 건강도 모델 적용 및 평가결과는 Fig. 2와 같다. IBI의 다변수모델을 이용한 생태 건강도 지수의 평균값은 33.5(n=8)로써 Barbour *et al.* (1999)의 등급기준에 의거할 때, 낙동강의 상류수계는 “보통~양호상태(Fair~Good)”로 나타났다. 최저 IBI 값은 S1과 S4에서 30으로 보통상태(Fair)로 나타났고, 최고 IBI 값은 S2의 경우 IBI값은 38로써 양호상태(Good)로 판명되었다. 민감 어종과 총식성 어종의 다량 출현으로 인하여 서식 환경이 잘 보존되어 있음을 강조한 내성도 및 트로픽 길드 분석 결과에 비해서 생태건강도 지수가 비교적 낮게 나온 이유는 채집된 종수와 개체수가 많지 않기로 사료된다.

IBI에 의한 다변수 모델값과 전통적 방법인 군집 분석 값과의 비교분석에 따르면, 지점에 따라서는 뚜렷한 차이를 보였다. 즉, 종래의 전통적 개념에 서식지 교란 및 부

영양화 등으로 오염된 수역에서는 다양한 생물의 분포가 제한되어 종다양도 지수가 낮아지고, 종다양도 지수가 높을수록 서식상태가 양호하다고 알려져 있지만(최 등, 2000), 실제 IBI에 의거한 다변수 생태 건강도 평가를 통해 살펴본 결과는 상당한 차이를 보였다.

Barbour *et al.* (1999)의 보고에 따르면, 하천차수가 증가할수록 혹은 하류로 갈수록 특히 하천의 이화학적 오염 증가에 의해서 IBI 값이 낮아지는 것이 일반적이며, 이런 연구는 타 연구들에서도 동일한 결과를 보이고 있다. 국내의 경우, IBI 값에 의거하여 평가된 금호강(염 등, 2000; 권과 안, 2006), 평창강(안 등, 2001b), 갑천(안 등, 2001a; 배와 안, 2006)의 보고를 비교한 결과에 따르면, 도심하천(금호강, 갑천)의 경우 하천차수가 증가하면서 IBI 값의 감소가 명확한 반면, 산간 계류형 하천(평창강)에서는 상, 하류사이의 큰 차이를 보이지 않았으며 대부분 조사지점에서 높은 생태건강도 모델값(IBI)을 보였다. 본 연구에서도 연구결과는 도심하천과는 뚜렷하게 다른 양상으로 나타났으며, 일부 낮은 건강도 값은 화학적 오염에 의한 것이라기보다는 물리적 교란의 영향이 더 큰 것으로 사료되었다. 즉 산간 계류형 하천의 경우 하천차수가 증가하여도 점오염원과 비점오염원에 의해 영향을 많이 받지 않고 자연상태 그대로 유지되어 서식지가 비교적 훼손되지 않고 양호하게 유지되는 반면, 도시를 통과하는 도심형 하천은 화학적 점오염원 및 하상교란에 의해 하류부에서 급격히 IBI 값이 감소되는 것으로 사료되었다.

하천차수에 따른 생태 건강도 모델값(IBI)과 종 다양도 지수의 비교분석 결과는 Fig. 3와 같다. 3차 하천인 S1, S2, S3에서 생태 건강도 모델값(IBI)은 각각 30, 38, 34으로 보통(Fair), 보통~양호상태(Fair~Good), 양호(Good)로써 조사지점 간 큰 차이를 보이지는 않지만, 전통적인 군집분석으로 널리 알려진 종다양도 지수는 각각 0, 0.73, 0.99로써 조사지점 간에 큰 차이를 보였다. 평균 IBI 값은 34 (n=3)로써 보통~양호상태(Fair~Good)이지만 종 다양성 지수의 경우 비록 평균은 0.57이지만, 지점 1과 3의 값의 차이가 IBI 값에 비해 현저히 크기 때문에 3차하천의 생태적 특징을 잘 반영하지 못하는 것으로 나타났다. 또한 4차하천의 경우도 IBI값은 각각 30, 32, 34로 보통(Fair), 보통~양호(Fair~Good)로 조사지점간 차이가 미미하게 나타났고, 종다양도 지수는 각각 0.81, 1.17, 1.57로 조사지점간에 큰 차이를 보였다. 또한 평균 IBI 값은 32 (n=3)로써 보통~양호상태(Fair~Good)를 나타내지만 평균 종다양도 지수의 경우 비교적 1.18로써 높게 나타남으로써 조사지점 S6에서의 서식지의 질적

저하를 반영하지 못하고 4차하천의 생태적 특징을 잘 반영하지 못하는 것으로 나타났다. 종합적으로 종다양도 지수는 어류수의 변화와 거의 1차함수적으로 변화하였다. 즉 하천의 차수(Stream order)가 커질수록 수질 오염이나 물리적 서식지 교란이 일부 일어나도 하천이 작은 최상류에 비해서 하천이 큰 하류하천으로 갈수록 종수는 증가하는 특성 때문에 전통적 군집지수의 이용은 생태계의 건강성을 측정하는데 문제점이 있는 것으로 나타났다. 이런 결과는 기존의 군집구조 분석만을 통해서 총체적인 하천의 생태학적 건강도를 판단하기에는 한계가 있음을 입증하는 바이다. 따라서, 본 연구에서 이용된 다변수 어류평가 모델을 통한 매트릭 분석은 어류의 트로픽 특성 및 생태계의 건강성을 잘 반영하고 있고, 레퍼런스 하천 평가에 의한 비교대상 하천 평가가 쉽고, 하천차수에 의한 하천의 크기도 잘 반영하고 있어 총체적 하천 생태계 건강성평가에 핵심자료로 이용될 것으로 사료된다.

## 적 요

본 연구는 낙동강의 최상류 8개 지점을 대상으로 1999년 6~8월까지 어류군집을 이용한 전통적인 종다양도 지수(H')와 IBI 지수를 통한 생태 건강도 평가를 비교하였다. 채집된 총 종수는 19종이었고, 우점종은 갈겨니와 버들치로써 각각 51%, 28%를 차지하였다. 트로픽 길드 분석에 따르면, 전체 채집된 종에서 총식종이 87%였고, 잡식종의 빈도는 극히 낮게 나타났다. 종다양도 지수에 의한 공간적인 변이의 패턴은 종수와 개체수의 패턴과 유사했지만, 내성도 및 트로픽길드 자료에 의한 패턴과는 상당한 차이를 보였다. 종다양도 지수는 지점 6에서 1.56으로 최대치를 보였으며, 민감종과 내성종은 각각 최소, 최대값을 보였다. 한편, 지점 6에서 총식종과 잡식종이 각각 최소, 최대치를 보였다. 즉 종다양도 지수는 내성도 길드 및 트로픽 길드의 패턴과 어떤 유사성도 없으며, 전통적인 지수는 수계내에서의 어류군집의 전반적인 생태학적 특성들을 잘 반영할 수 없었다. 한편, 생태건강도 (IBI)의 평균 모델값은 33.5(n=8)로써 보통~양호상태로 나타났고, 트로픽 길드 및 내성도 길드의 패턴과 유사하게 나타났다. 민감종과 총식종이 거의 최대치를 보인 2지점에서 IBI 값은 최대치를 보였으며, 동일지점에서 내성종과 잡식종의 빈도는 최저치를 보였다. 이런 결과는 IBI 값이 생태학적인 기능과 건강상태에 밀접히 연관되어 있다는 것을 제시하는 바이다. 본 연구에서 전통적인 종 다

양도 지수는 어류를 이용한 생태건강도 군집평가에 비효율적인 반면, IBI를 이용한 접근방식은 하천구조를 잘 진단할 수 있는 유용한 척도가 될 수 있음을 시사하는 바이다.

## 인 용 문 헌

- 강영훈, 서준원, 금지돈, 양홍준. 2004. 낙동강 중류(구미지역)의 어류군집구조, 육수지 37(2): 227-235.
- 권영수, 안광국. 2006. 금호강 수계에서 생물학적 하천 건강도 및 이화학적 특성, 육수지 39(2): 145-156.
- 김미숙, 정영륜, 서의훈, 송원섭. 2002. 낙동강 부영양화와 수질 환경요인의 통계적 분석, 한국조류학회지 17(2): 105-115.
- 김익수, 강언중. 1993. 원색 한국어류도감. 아카데미서적, 서울.
- 김익수, 이은희. 1995. 수수미꾸리의 초기 발생에 관한 연구, 육수지 28(4): 455-462.
- 남명모. 1996. 한국산 담수어류의 현황, 한국육수학회심포지움. p. 31-45.
- 박성배, 이상균, 장광현, 정광석, 주기재. 2002. 장마기의 강우가 낙동강 하류(물금) 수질에 미치는 영향, 육수지 35(3): 160-171.
- 배대열, 안광국. 2006. 생물학적 다변수 모델 적용 및 수확분석에 의거한 갑천생태계 평가, 육수지 39(2): 198-208.
- 안광국, 김자현. 2005. 물리적 서식지평가기법 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 건강성 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.
- 전상린. 1980. 한국산 담수어의 분포에 관하여. 중앙대박사학위논문, 서울.
- 전상린. 1999. 반변천에서 채집된 꼬리(잉어과)에 관하여, 환경생물 17(4): 499-501.
- 전상린, 손영목. 1983. 한국산 흰수마자, *Gobiotia naktongensis* Mori의 분포에 관하여, 육수지 16(1-2): 21-26.
- 채병수, 강영훈, 양홍준. 1998. 낙동강수계 위천의 어류군집구



- 조, 한어지 **10**(1): 77-86.
- 최재석, 변화근, 석형근. 2000. 원주천의 어류군집동태, 육수지 **33**(3): 274-281.
- 환경부. 2004. 물환경종합평가방법 개발 조사연구(I). p. 321-344.
- 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.
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.* **3**: 36-71.
- Pielou, E.C. 1975. *Ecological diversity*. Wiley. New York. 165p.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* **163**: 688.

(Manuscript received 23 July 2007,  
Revision accepted 5 September 2007)