

## 위천 상류에 건설 중인 화북댐 상·하류 어류군집에 관한 연구

서진원\* · 김희성

(한국수자원공사 K-water연구원)

A Study of Fish Community on Up and Downstream of Hwabuk Dam Under Construction in the Upper Wie Stream. Seo, Jinwon\* and Heesung Kim (Korea Institute of Water and Environment (KIWE), Korea Water Resources Corporation, Daejeon 305-730, Korea)

Hwabuk Dam has been under construction to reduce flood damage in Nakdong River watershed and to supply stable water for middle area of Gyeongbuk Province. Therefore, fish investigation in up and downstream of the dam was conducted from 2004 to 2008 in order to determine any negative effect on fish community due to dam construction and to use as fundamental data for conserving species diversity and maintaining stream health. According to data analysis on water quality, temperature, dissolved oxygen, pH, suspended solids, and total E-coli had seasonal variation, but they did not significantly differ in sites. However, biological and chemical oxygen demand, chlorophyll-*a*, nitrogen, and phosphorus representing organic matter and nutrient concentration were higher in upper site and decreased to lower site so that they differed by site. Concentration of arsenic among the heavy metals was less than 0.05 mg L<sup>-1</sup>, which is regulated for protection of human health in water quality standard, except for 0.092 mg L<sup>-1</sup> in June 2005. During the study period, the total number of fish caught from the 6 sites was 10,263 representing 7 families 19 species. Among them, dominant and subdominant species were Korean chub (*Zacco koreanus*, 62.5%) and Chinese minnow (*Rhynchocypris oxycephalus*, 10.6%) which inhabit mostly in mid and upper streams, Korea. Among the 19 species, Korean endemic species were 9 species (47.4%) including Korean slender gudgeon (*Squalidus gracilis majimae*), Korean dark sleeper (*Odontobutis platycephala*), and Korean shiner (*Coreoleuciscus splendidus*). There was several individuals of the 1<sup>st</sup>-class endangered species, Nakdong nose loach (*Koreocobitis naktongensis*), caught in 2005~2007, and no introduced species of fish was found in entire sampling period. According to result of community analysis, dominance index decreased toward lower site, but diversity and richness indices increased toward lower site. The equation of length-weight relationship on the dominant species was  $TW=0.000003(TL)^{3.2603}$ . The parameter *b* in the equation was greater than 3.0 indicating good nutritional condition in the populations. Compared to populations of Korean chub in other streams, the population in Hwabuk Dam watershed had higher mean of condition factor by size indicating better growth rate. With fish fauna and multi-metric health assessment model in each sampling attempt, index of biotic integrity (IBI) was evaluated and it resulted mostly in good (26~35) and excellent (36~40) condition in all sites, and the mean of IBI was the highest in site 5. The results indicate that it is very important to study not only environmental impact assessment with fish

\* Corresponding author: Tel: 042) 870-7453, Fax: 042) 870-7499, E-mail: jinwonseo91@kwater.or.kr

composition but also stream health assessment in order to conserve healthy aquatic ecosystem.

**Key words :** dam construction, fish community, environmental impact assessment, index of biotic integrity, stream health assessment

## 서론

우리나라는 몬순기후의 영향 및 국지적인 집중호우 등으로 인하여 여름에 강우량이 집중되는 특징을 가지고 있다. 이에 따라 효율적인 수자원의 관리를 위하여 오랫동안 전국적으로 18,000여 개의 크고 작은 댐(dam)과 보(weir)들이 건설되어졌다(농림부, 2000, 2001; 김, 2008; 안 등, 2008). 하지만 일반적으로 하천에 있어서 이와 같은 인위적인 횡단구조물들은 하천의 상·하류를 구분 짓고, 자연하천의 형태에서 호수 또는 정수역(lacustrine or lentic)으로 변화시켜 유기물 및 영양염류의 유입 및 체류를 증가시킨다. 또한 수중 생태계 내 물리적, 화학적, 생물학적인 특성 변화로 인해 수중생물들의 생활에 직·간접적으로 영향을 미쳐 생물량 증·감소 및 생물상 변화에 큰 영향을 줄 수 있다고 보고하고 있다(Naiman *et al.*, 1986). 이에 미국 및 유럽의 수많은 연구들은 건강한 수 환경을 보전하고 복원하고자 꾸준한 생물모니터링(Biomonitoring)을 해야 한다고 주장해 왔으며(Schmitt and Dethloff, 2000), 생물학적 보전지수(Index of Biotic Integrity, IBI)로 알려진 하천 생물학적 평가(Bioassessment)에 관한 많은 연구(Karr, 1981; Karr *et al.*, 1986; OEPA, 1987; Ganasan and Hughes, 1998)가 이루어지고 있다.

최근 하천의 연속성 개념(The River Continuum Concept)을 예를 들어 농업용수 확보를 위해 설치된 기존 보나 소형 댐의 철거(Removal) 및 어류 이동을 위한 댐 또는 보의 어도(Fishway) 설치에 대한 관심이 날로 커지고 있다(Poff *et al.*, 1997; 한국건설기술연구원, 2005; 김, 2008). 특히 수중생물 중 어류와 관련되어 경제적 가치성이 높거나 희귀성이 있으며 생태학적으로 가치 있는 보호어종 존재의 경우 이와 같은 구조물로 인하여 부정적인 영향(negative impact)을 미치게 된다(Poff *et al.*, 1997). 이에 화북댐은 대체생물서식처(수달서식처, 조류서식처, 인공습지) 등의 조성을 통하여 댐건설사업으로 인한 영향을 최소화하기 위해 보전(Conservation)과 복원(Restoration) 개념을 적용하여 환경영향을 저감하고 생물종의 다양성을 증진시키고 하는 노력을 기울이고 있다.

본 연구는 댐 건설 중 발생할 수 있는 환경영향을 파악

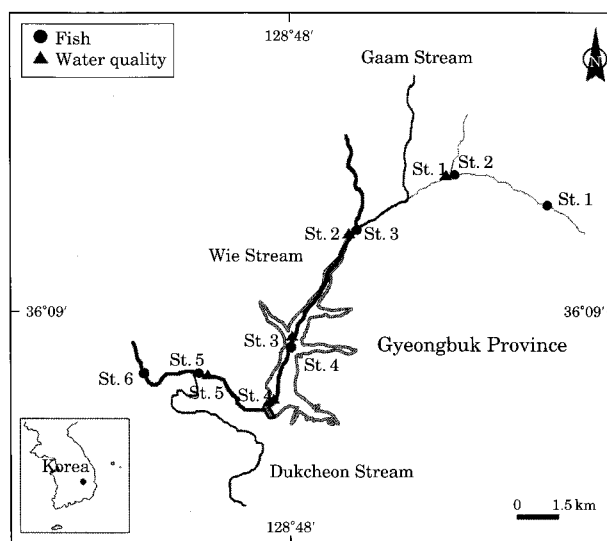
하고 이를 최소화하기 위해 화북댐 건설지 상·하류에서 계절별 어류조사를 통해 현재 서식하고 있는 어류의 종 조성 및 건강성평가(Index of biotic integrity, length-weight relation, condition factor)를 토대로 어류에 관한 다양한 환경영향평가(Environmental Impact Assessment, EIA)를 실시하고 화북댐 완공 후 상·하류 하천의 어류상 변화를 파악하는 데 기초자료로 활용하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사대상 지역 및 시기

화북댐은 댐 하류 낙동강 유역의 홍수피해를 저감하고, 경북 중부지역(군위, 의성, 칠곡)의 안정적인 용수를 공급하기 위한 목적을 가지고 건설 중이며 댐 높이가 45m, 댐 길이가 330m, 댐체적은 877,000 m<sup>3</sup>의 콘크리트 표면차수벽형 석피댐이다. 화북댐 건설지에 위치한 위천은 낙동강의 제1지류이며, 유역면적 87.5 km<sup>2</sup>, 연평균유입량 50.8백만 m<sup>3</sup>, 연평균강우량은 1020.6 mm인 지방 2급 하천이다.

조사 지점은 화북댐 건설지 상류 4지점과 하류 2지점



**Fig. 1.** Map of the study sites. Dam is under construction and the grey line indicates expected area submerged.

으로 나누어 어류조사를 실시하였으며 (Fig. 1), 각 지점의 행정구역 명칭은 아래와 같다.

#### 화북댐 건설지 상류

- St. 1: 경상북도 군위군 고로면 학암리 학암교
- St. 2: 경상북도 군위군 고로면 석산리 석산교
- St. 3: 경상북도 군위군 고로면 양지리 동곡교
- St. 4: 경상북도 군위군 고로면 학성리 숙여교

#### 화북댐 건설지 하류

- St. 5: 경상북도 군위군 고로면 화북리 인각교
- St. 6: 경상북도 군위군 고로면 매성리 금양교

화북댐 건설지 상·하류 조사는 2004년 11월과 12월에 2회 실시하였고, 하천의 건천화로 조사가 불가능하였던 2005년 6월 조사를 제외한 2005년부터 2008년까지는 각각 4회씩 분기별 (3월, 6~7월, 8~9월, 10~11월) 조사를 실시하였다.

## 2. 조사방법

### 1) 수질자료

수질측정 결과는 화북댐 건설지인 위천의 건설교통부 (2007, 2008) 사후환경영향조사 중 수질 조사부분의 2004년 10월부터 2008년 11월까지 분기별로 측정된 30개 항목 중 15개 주요 항목 (수온, 용존산소, 수소이온농도, 전기전도도, 엽록소, 부유물, 생물학적·화학적 산소요구량, 총대장균수, 총질소, 질산성질소, 암모니아성질소, 총인, 인산염인, 비소) 수질 조사 자료를 참고하였다.

### 2) 어류 조사

화북댐 건설지 인근 각 조사지점 상·하류 100 m 내에서 두 명의 조사자가 하천을 따라 이동하며 각각 투망 (망목 7×7 mm)과 족대 (망목 4×4 mm)를 사용하여 어류 조사를 실시하였다. 채집된 어류는 현장에서 동정하였고, 개체수 확인 후 즉시 놓아주었으나 동정이 불가능한 개체나 표본 및 계측이 필요한 경우에는 10% 포르말린 용액에 고정하여 실험실로 운반하여 최 등 (1990), 김 (1997)에 의해 동정하였으며, 어류분류체계는 김 등 (2005)과 Nelson (1994)에 의거하였다.

## 3. 군집분석

군집분석은 환경의 변화가 악화될수록 특정종의 우세가 나타나므로 환경의 변화에 대한 지표로 삼고자 Mc-Naughton (1967)의 우점도 (Dominance index: DI)와 Margalef의 정보이론에 의하여 유도된 Shannon-Weaver

function (Shannon and Weaver, 1949)을 사용하여 종 다양도 (Species diversity:  $D'$ )를 산출하였다. 종 구성의 균일한 정도를 나타내는 균등도 (Evenness index:  $E$ )는 Pielou (1975)의 식을 사용하였으며, 풍부도 (Richness index:  $R$ )는 Margalef (1958)의 지수를 활용하여 산출하였다.

## 4. 길이-무게 상관관계 및 비대지수

우점종을 대상으로 길이-무게의 상관관계 및 어류의 전장과 체중을 이용한 개체군의 평가 시 사용되는 유용한 식은 다음과 같다 (LeCren, 1951).

$$TW = aTL^b$$

( $TW$ =total weight (gram),  $TL$ =total length (mm),  
a와 b=parameters )

이때 매개변수  $b$ 값이 3.0보다 크면 길이에 비해 비대하다는 것을 의미하고 반대로  $b$ 값이 3.0보다 작으면 길이의 증가만큼 개체가 비대하지 않다는 것을 뜻한다.

반면에 Index of well-being에 해당하는 Fulton-type의 비대지수 (condition factor,  $K$  또는  $CF$ )를 알아보는 식은 다음과 같다.

$$K \text{ 또는 } CF = TW/TL^3 \times 10^5 \text{ (Anderson and Neumann, 1996)}$$

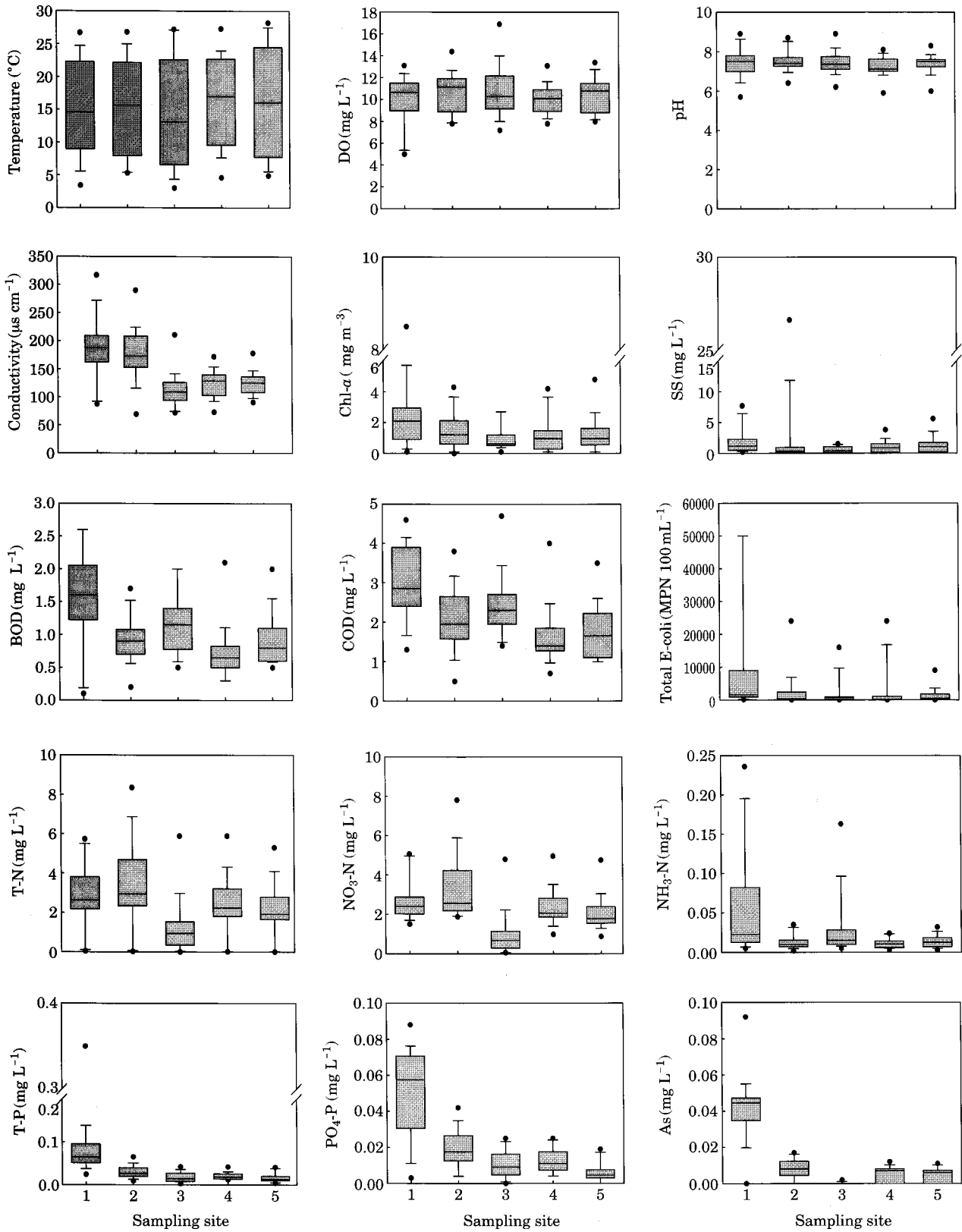
위의 수식을 통해 2005년 8월부터 10월 사이에 조사된 어류 중 우점종의 개체별 비대지수 ( $CF$ )를 size별로 같은 기간에 낙동강 수계 다른 유사한 하천에서 포획된 동일종 비대지수와의 비교를 통하여 어류의 개체군 건강성평가를 실시하였다.

## 5. 어류를 이용한 하천건강성평가

어류조사에 의거한 하천건강성평가 모델 및 매트릭 분석은 8개 매트릭으로 나누어 각 점수를 합산하여 최대 가능 점수 “8×5=40점”, 최저 점수 “8×1=8점”으로 나타내어 지수화 하였다 (환경부, 2006, 2007; Strahler, 1957). 또한 평가는 최적 (40~36, Excellent, A), 양호 (35~26, Good, B), 보통 (25~16, Fair, C), 불량 (15 이하, Poor, D)의 4등급으로 나누었다.

## 6. 자료 분석

화북댐 건설지의 5개 사후환경영향조사 지점에 대한 이화학적 수질자료와 6개 조사지점에 대한 어류 군집분석, 그리고 위천에 서식하고 있는 어류를 이용한 하천건강성평가 (IBI) 자료는 최소·최대값과 평균·평균오차를



**Fig. 2.** Range of water qualities with vertical box plot indicating minimum, 10%, 25%, median, 75%, 90%, and maximum in each sampling site.

서로 비교하였다. 도출된 자료를 이용하여 중앙값, 10, 25, 75, 90th 백분위수를 포함하는 vertical box plot을 활용하여 비교하였다. 또한 도출된 자료에 대한 통계분석은 SigmaStat version 2.0의 Tukey Test를 활용하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 이·화학적 수질범위

화북댐 건설 구간의 하천 수질환경 요인 중 5년(2004~2008)간의 이·화학적 수질변화는 현장에서 측정 가능한 항목인 수온과 용존산소, 수소이온농도와 실내분석 항목인 부유물, 총대장균수의 경우 각 지점별 계절에 따른 변화를 주로 보이며 지점간에는 큰 차이는 보이지 않았다. 용존산소의 경우 대부분 포화농도 수준으로 용존산소 부족에 따른 수질문제는 없는 것으로 보였고, 조사 기간 중 용존산소 및 수소이온농도는 하천수질등급 상 대부분이 Ia 등급을 나타내었다. 전기전도도는 계절적으로 유량이 빈약한 갈수기에 다소 높은 값을 보였고, 전반적으로 상류에서 높고 중류에서 낮게 유지하다가 하류로 갈수록 다소 증가하는 경향을 보였다. 총대장균수는 각 구간별 연도별로 변동 폭이 매우 컸으며 하천수질등급 상 Ia~VI의 범위를 보였다(Fig. 2).

하천 및 호소에서 유기물의 오염 정도를 나타내는 생물학적·화학적 산소요구량을 조사지점 및 시기별로 확인한 결과 Ia~III등급을 나타내었으며 대부분 2.111 mg L<sup>-1</sup>로 나타나 “약간 좋음”인 II등급을 나타내었다. 엽록소 농도 역시 각 지점별 유기물의 오염농도에 비례하여 상류에서 높고 중류에서 낮게 유지하다가 하류로 갈수록 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 영양염류에 해당하는 질소, 인의 경우 각 지점 간 큰 차이를 보였으며 3지점을 제외하고 상류에서 하류로 갈수록 낮아지는 경향을 보였다. 중금속 중 비소(As)의 경우 위천 최상류에 위치한 폐광산에서 흘러온 것으로 추정되며, 상류에서 가장 높은 0.042 mg L<sup>-1</sup>로 나타났으나 하류로 갈수록 점차 낮아져 0.006 mg L<sup>-1</sup>을 나타내었다. 비소의 경우 2005년 6월 0.092 mg L<sup>-1</sup>를 제외하고는 0.05 mg L<sup>-1</sup> 이하를 나타내어 하천수 수질환경기준 상 사람의 건강 보호 측면에서 규정한 0.05 mg L<sup>-1</sup> 이하의 범위 내에서 나타나는 것으로 확인되었다(Fig. 2).

### 2. 어류상 및 군집분석

화북댐 건설지인 경상북도 군위군 일대의 낙동강 수계 인 위천에서 2004년부터 2008년까지 5년에 걸쳐 어류

조사를 실시한 결과 총 7과 19종 10,263개체가 포획되었다(Table 1). 조사된 19종 중 잉어과 어류는 10종(52.6%)이 확인되었으며, 다음으로 미꾸리과 어류가 4종(21.1%), 메기과, 통가리과, 동사리과, 망둑어과 그리고 버들붕어과는 각각 1종(5.3%)씩 출현하였다. 이렇게 잉어과 어류와 미꾸리과 어류의 출현빈도가 높게 출현한 것은 우리나라 서남해로 유입되는 하천의 전형적인 특징이라고 할 수 있다(전, 1980). 또한 낙동강 수계의 위천에서 확인된 19종 중 한국고유종은 쉬리, 긴물개, 참갈겨니 등 9종(47.4%)이 확인되어 김(1995)에 조사된 일반적인 한국고유종의 고유화빈도인 25.9%보다 높은 수치를 보였으며, 멸종위기야생동·식물 I급으로 지정된 얼룩새코미꾸리가 2005년부터 2007년까지 5개체(0.1%)가 포획되었다. 과거 문헌(건설교통부, 2002)과의 비교 결과 2004년 조사에서 13종으로 가장 적은 종이 확인되었고, 2005년 조사에서는 18종으로 가장 많은 종이 확인되었다(Table 1). 화북댐 건설지 상·하류 6개 조사 지점에서 현재까지 외래도입종은 확인되지 않고 있지만 타 댐들의 경우 댐 저수지내에 인위적으로 방류되어 여러 문제들을 야기시키는 바 현재 건설 중인 화북댐의 상·하류 위천 및 댐으로 흘러 들어오는 지천에 대하여 외래도입종, 특히 환경부 지정 위해성어종인 블루길, 배스 등의 방류에 대한 철저한 관리가 이루어져야 할 것이라고 사료된다.

조사 지점 중 최 하류 구간에 해당되는 지점 6은 현재 진행되고 있는 공사의 영향이 없는 것으로 사료된다. 하지만 자연적·인위적 영향에 의하여 하상구조 및 먹이 활동에 제약을 받는 등 어류의 서식처에 변화를 줄 수 있기 때문에 이곳에서 확인된 환경부 멸종위기야생동·식물로 지정된 얼룩새코미꾸리의 보호 및 보존을 위한 대책마련이 시급한 실정이다.

화북댐 상·하류 하천 조사 지점에서 채집된 모든 종의 개체수간 구성비를 분석한 결과 중·상류 하천의 특징을 보여 총 10,263개체 중 참갈겨니가 6,417개체(62.5%)로 가장 높은 구성비를 나타내었으며, 하천의 상류에 주로 서식하는 버들치가 1,088개체(10.6%)로 두 번째로 높은 구성비를 보였다. 그 다음으로는 긴물개, 동사리, 쉬리, 피라미 등의 순으로 나타났다. 조사결과 주로 하천의 중·상류에서 서식하는 참갈겨니, 버들치, 긴물개의 구성비가 높게 확인되었고, 그 밖의 모래무지, 미꾸리, 얼룩새코미꾸리 등은 0.5% 미만의 낮은 구성비를 보였다(Table 1). 5년에 걸쳐 화북댐 유역 하천을 조사한 결과 우점종인 참갈겨니의 경우 2004년도 58.3%로 가장 낮은 비교풍부도값을 보였으며 2005년도에 가장 높은 비교풍부도값인 66.9%로 나타났고, 아우점종인 버들치의 경우에도 6.3~

**Table 1.** A list of fish species and number of individuals caught from the sampling sites from 2004 to 2008.

Species	English name	Year					Total	RA	Re.
		2004	2005	2006	2007	2008			
<b>Cyprinidae</b>									
<i>Carassius auratus</i>	Crusian carp	13	3	32	12	5	65	0.63	
<i>Pungtungia herzi</i>	Striped shinner	52	49	44	20	56	221	2.15	
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	Korean shinner	24	81	37	132	142	416	4.05	K
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	Korean slender gudgeon	52	112	64	93	173	494	4.81	K
<i>Hemibarbus longirostris</i>	Long nose barbel		27	21	6	7	61	0.59	
<i>Pseudogobio esocinus</i>	Goby minnow				13		13	0.13	
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	-	70	76	17		17	180	1.75	K
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	Chinese minnow	335	280	142	127	204	1,088	10.60	
<i>Zacco koreanus</i>	Korean chub	1,002	1,716	986	1,343	1,370	6,417	62.53	K
<i>Zacco platypus</i>	Pale chub	1	80	83	93	81	338	3.29	
<b>Cobitidae</b>									
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	Muddy loach		7	3		6	16	0.16	
<i>Koreocobitis naktongensis</i>	Naktong nose loach		1	3	1		5	0.05	E, K
<i>Cobitis sinensis</i>	Spine loach	5	24	44	37	31	141	1.37	
<i>Niwaella multifasciata</i>	Eastern spine loach	14	47	87	36	51	235	2.29	K
<b>Siluridae</b>									
<i>Silurus microdorsalis</i>	Slender catfish		1			1	2	0.02	K
<b>Amblycipitidae</b>									
<i>Liobagrus mediadiposalis</i>	South torrent catfish	30	8	13	5	3	59	0.57	K
<b>Odontobutidae</b>									
<i>Odontobutis platycephala</i>	Korean dark sleeper	75	45	90	94	127	431	4.20	K
<b>Gobiidae</b>									
<i>Rhinogobius brunneus</i>	Common freshwater goby	45	5	15	5	10	80	0.78	
<b>Belontiidae</b>									
<i>Macropodus ocellatus</i>	Roundtailed paradise fish		1				1	0.01	
Number of family		7	5	5	6	7	7		
Number of species		13	18	16	15	16	19		
Number of individuals		1,718	2,563	1,681	2,017	2,284	10,263		

K: Korean endemic species, E: Endangered species, RA: Relative abundance, Re.: Remark

19.5%의 비교풍부도값을 보였다. 그 외 나머지 어류들도 비교풍부도값의 증감만 있을 뿐 큰 변화는 보이지 않았다. 위의 결과로 비교풍부도 측면에서만 살펴보면 화북댐이 들어설 위천 상류일대의 어류상에 큰 변화는 보이지 않는 것으로 사료된다.

군집분석 결과 우점도 지수는 각 지점에서 포획된 우점종 및 아우점종의 개체수를 이용하여 나타내는 지수로서 조사 지점 중 최상류에 속하는 지점 1과 지점 2에서 높은 우점도 값을 보였다(Fig. 3). 이는 일반적으로 하류에서 상류로 갈수록 종 조성이 단순해짐에 따라 특정종이 우점하는 비율이 높기 때문에 조사 지점 1과 2의 경우에 평균 0.90과 0.97로 나타났다. 이는 조사 지점 중 최상류역에 위치하고 있어 상류에서 주로 서식하는 어종인 참갈겨니와 버들치가 높은 비율로 출현하였기 때문이다. 위천 일대의 군집분석 결과 중앙값 측면에서 보면 최상류에 속하는 지점 2에서 가장 높은 우점도값을 보였고 하류로

갈수록 점차 낮아지는 경향을 보였다. 다양도 지수는 군집의 종 풍부 정도와 개체수의 상대적 균형성을 의미하는 지수로서 지점 6에서 평균 1.57로 가장 높은 지수값을 보였고 그 외 지점에서는 0.64~1.46의 범위를 보였으며 지점 2에서 0.64로 가장 낮은 지수값을 보였다(Fig. 3). 지점 2에서 가장 낮은 다양도 지수를 보인 이유는 참갈겨니와 버들치가 대부분 출현하였기 때문이며 조사 지점의 하천이 최상류에 해당하는 지역으로써 종 조성이 매우 단순하기 때문에 낮은 다양도 지수값을 보인 것으로 판단된다. 중앙값 측면에서는 최상류인 지점 1, 2에서 낮은 값을 보였으며 하류로 갈수록 높아지는 경향을 보였다. 균등도 지수는 군집 내 종 구성의 균등한 정도를 나타내는 것으로 종 다양도와 마찬가지로 가장 많은 종이 출현한 지점 6에서 평균 0.68로 가장 높게 나타났으며 그 외 지점에서는 0.48~0.67의 낮은 값을 보이는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3). 균등도의 중앙값은 평균값과

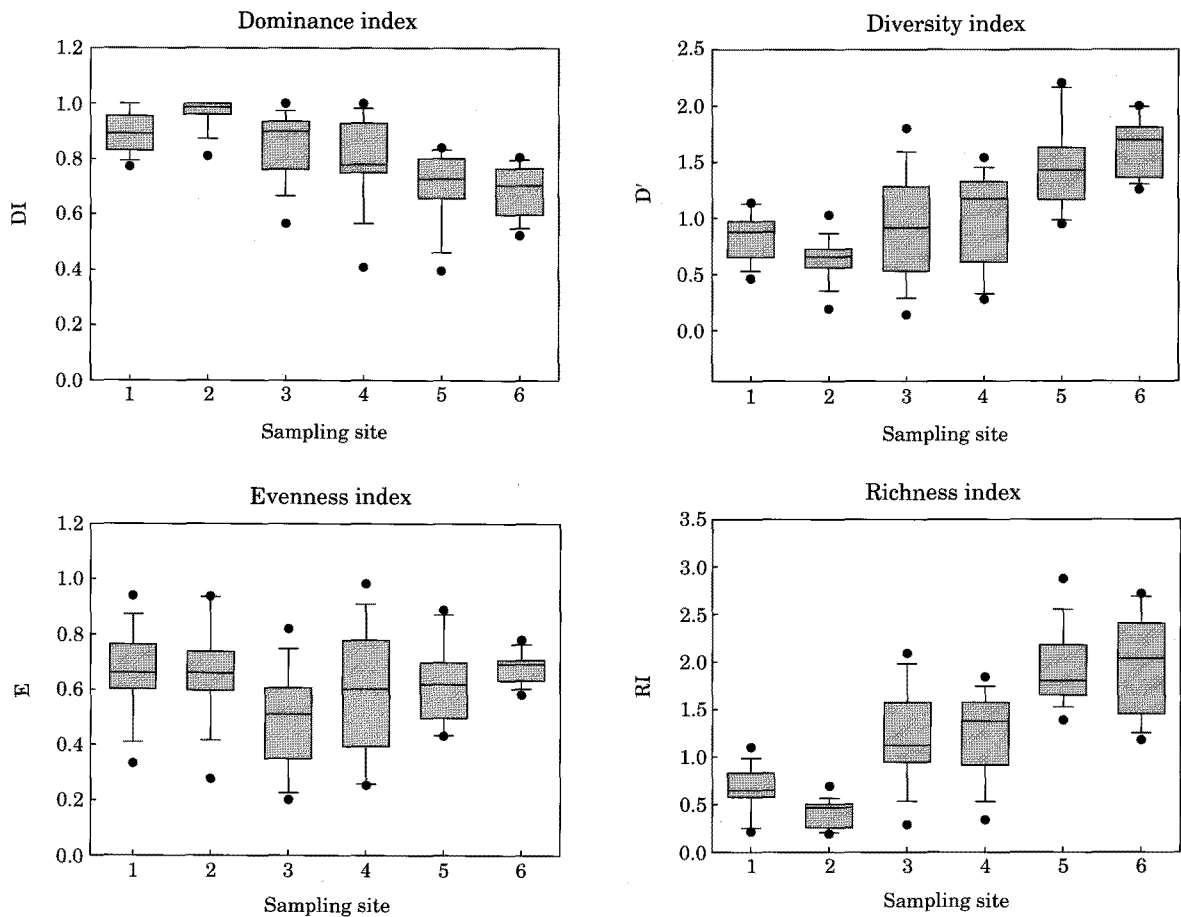


Fig. 3. Community analysis in each site.

유사하게 지점 6에서 가장 높은 값을 보였으며, 지점 3을 제외하고는 거의 유사한 값을 보였다. 풍부도 지수는 종의 개체수와 종의 수만으로 군집을 평가하는 것으로 지점 6에서 평균 1.97로 가장 높게 나타났으며 대부분이 참갈겨니와 버들치만 포획된 지점 1과 2에서는 각각 0.67과 0.40으로 낮은 지수값을 보였다. 중앙값 측면에서도 역시 지점 6에서 가장 높은 중앙값을 보였으며 상류로 갈수록 중앙값이 점차 낮아지는 경향을 보였다(Fig. 3).

### 3. 과거 출현어종과의 비교

2002년에 보고된 화북댐 건설사업 시 환경영향평가 보고서에서 댐 예정지 상·하류 5곳을 선정하여 현장 조사, 문헌조사 및 탐문조사를 통하여 붕어, 돌고기, 쉬리, 긴물개 등 총 6과 15종이 확인된 것으로 확인되었다(건설교통부, 2002). 과거 조사와 2004~2008년까지의 조사를 비교해보면 2005년부터 환경부지정 멸종위기야생동·식물 I급 중인 얼룩새코미꾸리가 출현하기 시작하였으나 2007

년까지는 확인이 되어 2008년 조사에서는 확인되지 않았고, 꺾지의 경우에도 2002년 문헌조사 이후 현재까지 확인되지 않았다. 하지만 2002년과 2004~2008년까지의 어류상 비교 결과 꺾지를 제외하고는 댐 건설 중에도 모든 종이 확인되는 것으로 나타났다.

### 4. 참갈겨니 개체군의 생태적 특징

화북댐 건설지인 낙동강 수계의 위천 상류에서 조사된 어종 중 참갈겨니가 가장 높은 출현율을 보였다. 우점종인 참갈겨니의 경우 우리나라 중·상류 지역에 흔하게 존재하는 종으로 2005년 포획된 1,716개체 가운데 339개체로 길이-무게 상관관계를 살펴본 결과 길이는 21~138 mm로 다양하게 분포하였으며, 무게는 0.1~26.3 g까지로 나타났다. 측정된 개체의 길이-무게 상관관계에서 수식  $TW=aTL^b$ 의 매개변수  $b$ 가 3.2603로 3.0보다 크게 나타나 낙동강 수계의 제1지류인 위천 상류에 서식하고 있는 참갈겨니의 상태가 양호한 것으로 나타났다(Fig. 4).

비대지수의 경우 어류의 건강성 및 개체군의 평가 시 광범위하게 사용되는 지수로서, 일반적으로 높은 비대지수 값을 보이던 어류에 있어 풍부한 먹이원 유용을 반영하는 높은 에너지 축적으로 설명된다고 말하고 있다(서, 2005). 이에 조사 지점에서 포획된 339마리의 참갈겨니에 대한 길이에 따른 비대지수를 분석한 결과 최대 1.23에서 최소 0.41로 나타났고, 개체가 커질수록 비대지수 값이 증가하는 패턴을 보였고 회귀분석결과 기울기가 0.0037로 나타났다(Fig. 4).

위의 결과를 바탕으로 2005년 8월부터 10월까지 낙동강 수계의 다른 하천에서 조사한 자료와의 비교 분석 결과 Size별 평균 비대지수는 성덕댐 유역의 소형 참갈겨니 개체군(20~60 mm)을 제외한 다른 지역의 개체군들은 유사한 비대지수를 보였다(Table 2). 이는 성덕댐 유역에서 산란기에 부화된 당해연도 치어들이 성장하는 기간 동안(5~8월) 여러 가지 하천에서의 서식지 교란(하천공사, 오염원 유입, 전천화 등)으로 인한 성장저해로 추측된다. 반면 1년생으로 추측되는 61~100 mm의 참갈겨니 개체군들의 경우부터 2년생으로 추측되는 101~140 mm의 참갈겨니 개체군들은 서로 유사한 평균 비대지수 값을 보이는 세 개의 지역 하천과는 달리 화북댐이 들어설 위천 상류의 개체군들이 매우 높은 값을 보였다( $P < 0.05$ ). 이는 화북댐 유역의 참갈겨니가 다른 지역보다 성장률이 월등히 뛰어나다는 것을 간접적으로 보여준 경우로서 그에 대한 원인은 유용 가능한 먹이원 풍부 또는 좋은 수질 및 서식지 조건을 들 수 있다. 이는 다시 말해 화북댐 유역 내 서식하는 대다수의 어류들에 있어 좋은 수 환경 조건이 제공되고 있는 것으로 사료된다.

5. 어류를 이용한 하천건강성평가(IBI)

화북댐 건설지 상·하류 조사지점에서 어류를 활용하여 미국의 Karr가 중서부 하천을 위하여 개발한 생물학적 보전지수(Index of Biotic Integrity, IBI)로 알려진 생물학적 평가(Bioassessment) 기법을 우리나라 실정에 맞

게 수정한 IBI를 적용한 화북댐의 하천건강성평가 시 6개 구간에서 대부분이 양호(26~35)에서 최적(36~40)의 점수를 보이는 것으로 나타났다(Fig. 5). 이는 평가 구간이 하천차수 산정법 상 1~3차의 상류하천이며, 댐 건설이 진행 중임에도 불구하고 어류를 이용한 하천건강성평가 결과 높은 점수를 보여 해당 조사 구간인 위천 상류하천이 수질오염이나 서식지 교란 등 어류가 생활하는데 악영향을 끼치는 영향이 거의 없는 청정한 하천이라는 것을 의미한다. 하지만 2007년 4차 조사 시 지점 4에

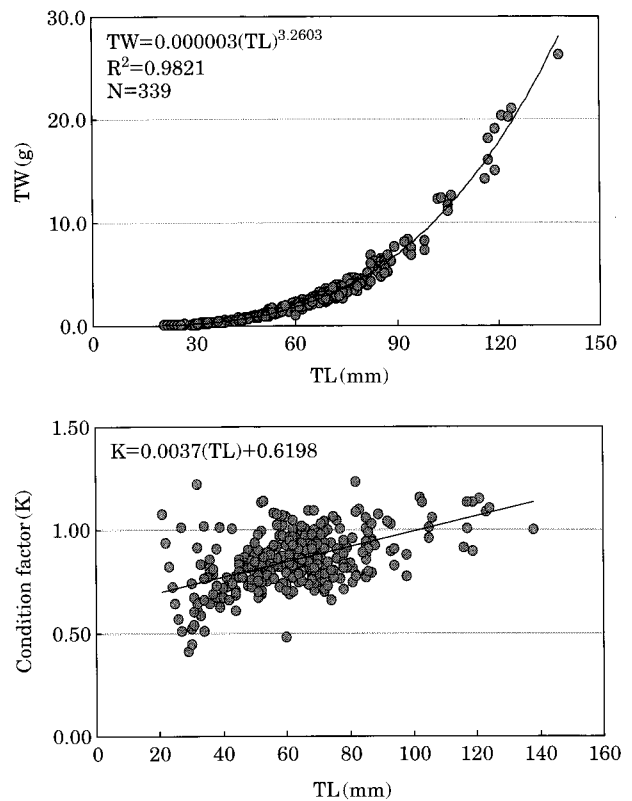


Fig. 4. Relations of length-weight (top) and length-condition factor (bottom) of Korean chub (*Zacco koreanus*) population caught in up and downstream of Hwabuk Dam in 2005.

Table 2. Comparison of condition factors by size on Korean chub (*Zacco koreanus*) populations caught in different watersheds in August to October 2005.

Size (TL, mm)	Ian Stream	Bohyun · Mugye Stream (Seongdeok Dam)	Nulin · Byeongbo Stream (Sinpung Dam)	Wie Stream (Hwabuk Dam)
b value	3.0580	3.2625	3.1042	3.2411
20~60	0.73 <sup>a</sup> (7)	0.63 <sup>b</sup> (28)	0.72 <sup>a</sup> (15)	0.74 <sup>a</sup> (76)
61~100	0.74 <sup>a</sup> (20)	0.72 <sup>a</sup> (85)	0.74 <sup>a</sup> (54)	0.81 <sup>b</sup> (85)
101~140	0.80 <sup>a</sup> (2)	0.76 <sup>a</sup> (5)	0.83 <sup>ab</sup> (2)	0.98 <sup>b</sup> (5)

Numbers in parenthesis indicate number of samples measured.

Numbers with a different alphabet in groups indicate that there is significantly difference among the groups.



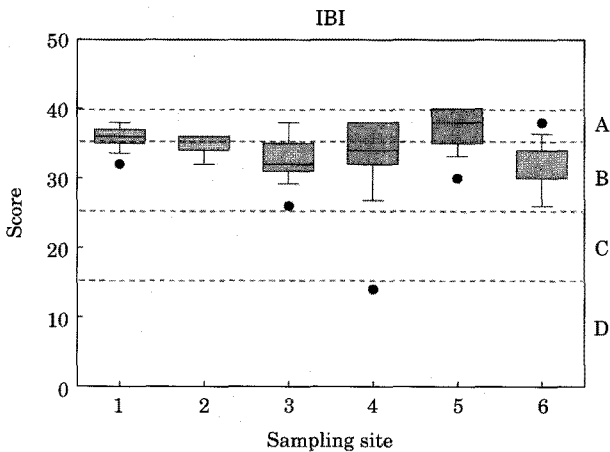


Fig. 5. Stream health assessment with index of biotic integrity (IBI). A: Excellent (36~40), B: Good (26~35), C: Fair (16~25), D: Poor ( $\leq 15$ ).

서 낮은 수온과 더불어 하상정비과정에서 서식지 교란 및 탁수 등의 발생 등으로 인하여 2종만이 확인되었고 개체수 또한 적게 출현(19개체)하여 가장 낮은 등급인 D 등급(불량,  $\leq 15$ )으로 14점을 나타내었지만, 수체가 안정된 이후에는 다시 A등급(최적)과 B등급(양호) 수준을 꾸준히 유지하고 있는 것으로 나타났다(Fig. 5).

## 6. 화북댐 건설지의 대체서식처

현재 화북댐 건설지에서는 향후 담수가 진행되면서 발생할 수 있는 환경변화에 대하여 그 영향을 저감하고자 대체생물서식처를 조성할 계획을 가지고 있다. 세부적으로는 수달 대체서식처를 조성하여 수물지역의 수달을 유도하기 위한 시설로 댐 상류지역과 수변부의 수달 서식 가능 지역에 대체서식처를 조성하고, 홍수조절지에 얇은 인공연못 조성과 댐 저수지 유입부 경사가 완만한 지점에 수생식물 식재 등 어류를 포함한 양서·파충류, 조류 등을 유도하기 위한 습지조성을 계획하고 있다. 이러한 대체서식지 또한 화북댐의 담수 이후 해당 서식지에 대한 각 생물들의 이용을 장기모니터링을 실시하고 이들의 활용도에 대한 조사를 바탕으로 생물이 대체서식처를 이용하는 데 문제점이 발생되면 모니터링 자료를 활용하여 보완하는 등의 노력을 기울여야 할 것이다.

## 적 요

본 조사는 낙동강 유역의 홍수피해를 저감하고, 경북 중부지역의 안정적인 용수를 공급하기 위해 경북 군위군

고로면에 건설 중인 화북댐의 상·하류 어류조사를 통하여 댐 건설이 하천유역에 특히 수 생태계내의 어류군집에 미치는 영향유무를 파악하여 종 다양성을 보전하고 하천의 건강성을 유지하기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다. 화북댐 상·하류에서 사후환경영향조사 기간(2004~2008년) 중 측정된 수질항목 분석결과 현장에서 측정된 수온, 용존산소, 수소이온농도와 실내분석 항목인 부유물, 총대장균수의 경우 지점별로 다소 계절에 따른 변화를 나타냈지만 큰 차이를 보이지는 않았으나 유기물 및 영양염류 농도에 해당하는 생물학적·화학적 산소요구량, 엽록소, 질소, 인의 경우 지점별로 매우 큰 폭의 변화를 보였으며 상류에서 다소 높고 하류에서 낮은 경향을 보였다. 중금속 중 비소의 경우 2005년 6월  $0.092 \text{ mg L}^{-1}$ 를 제외하고는  $0.05 \text{ mg L}^{-1}$  이하를 나타내어 하천수 수질환경기준 상 사람의 건강 보호 측면에서 규정한  $0.05 \text{ mg L}^{-1}$  이하의 범위 내에서 나타나는 것으로 확인되었다. 화북댐 상·하류에서 어류조사를 실시한 결과 총 7과 19종 10,263개체가 확인되었다. 조사된 어류 중 우점종은 하천 중·상류에 주로 서식하는 참갈겨니(62.5%)로 확인되었으며 아우점종은 버들치(10.6%)로 나타났다. 조사 구간인 위천 상류에서 확인된 19종 중 한국고유종은 곤돌개, 동사리, 쉬리 등 총 9종(47.4%)으로 나타났으며, 멸종위기야생동·식물 I급으로 지정된 일록새코미꾸리(*Koreocobitis naktongensis*)가 소수의 개체이지만 포획되었고, 외래도입종은 확인되지 않았다. 군집분석 결과 우점도 지수는 하류로 갈수록 감소한 반면에 다양도, 풍부도 지수는 하류로 갈수록 증가하였다. 우점종인 참갈겨니의 개체군 분석 결과, 길이-무게 상관관계식은  $TW=0.000003(TL)^{3.2603}$ 로서 매개변수 b값이 3.0보다 크게 나타나 개체군의 영양상태가 양호한 것으로 나타났다. 또한 유사시기에 다른 하천에서의 개체군들과 비교분석 결과 size별 평균 비대지수(CF)가 상대적으로 높은 값을 보여 화북댐 유역의 참갈겨니가 다른 지역보다 성장률이 높았다. 화북댐 상·하류에서 어류 조사 자료를 활용하여 하천건강성평가(IBC)를 적용한 결과, 대부분의 지점에서 양호(26~35)에서 최적(36~40)을 보였으며 지점 5에서 평균값이 가장 높게 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 지속적인 모니터링을 실시하여 어류에 관한 환경영향평가와 하천건강성평가 등을 통한 화북댐 완공 후 상·하류 하천의 어류상 변화유무 및 환경영향을 파악하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 한국수자원공사에서 실시한 "04~08년 화북

댐 건설사업 사후환경영향조사”의 일환으로 수행되었으며, 원활한 조사 및 연구를 위해 협조해주신 박석효, 강보승 과장님, 그리고 현장조사를 도와주었던 임인수 연구원에게 감사드립니다.

인 용 문 헌

건설교통부. 2002. 화북댐 건설사업 환경영향평가서. 한국수자원공사.

건설교통부. 2007. 2007 화북다목적댐 건설사업 사후환경영향조사. 한국수자원공사.

건설교통부. 2008. 2008 화북다목적댐 건설사업 사후환경영향조사. 한국수자원공사.

김익수. 1995. 한국의 위기 담수어류의 서식현황과 보존. 한국생태학회. 어류학회 공동 심포지움 발표 논문집. p. 31-50.

김익수. 1997. 한국동식물도감 제37권 동물편(담수어류). 교육부. 629p.

김익수, 최 윤, 이충렬, 이용주, 김병직, 김지현. 2005. 원색한국어류도감. 교학사. 615p.

김희성. 2008. 어류의 서식처 회복에 보 철거가 미치는 영향에 관한 연구. 호남대학교 대학원 석사학위논문. 51p.

농림부. 2000. 농업용수 수질개선 시험사업 보고서(IV). 농업기반공사.

농림부. 2001. 농업생산기반 정비사업 통계연보. 농업기반공사.

서진원. 2005. 어류상 및 개체군의 생태학적 특징. 한국육수학회지 38(2): 196-206.

안홍규, 우효섭, 이동섭, 김규호. 2008. 기능을 상실한 보 철거를 통한 하천생태통로 복원-곡릉천 곡릉2보 철거를 대상으로. 한국환경복원녹화기술학회지 11(2): 40-54.

전상린. 1980. 한국산 담수어의 분포에 관하여. 중앙대학교 대학원 박사학위논문. 91p.

최기철, 전상린, 김익수, 손영목. 1990. 원색 한국담수어도감. 향문사. 277p.

한국건설기술연구원. 2005. 기능을 상실한 보 철거를 통한 하천생태통로 복원 및 수질개선 효과 1차년도 보고서. 81p.

환경부. 2006. 물환경종합평가방법 개발 조사연구(III) 최종보고서: 수생태 건강성 조사 및 평가 체계 연구. 국립환경과학원.

환경부. 2007. 수생태 건강성 회복을 위한 하천복원 모델과 기준. 조사계획 수립 연구 최종보고서(III): 수생태 건강성 조사계획 수립 및 지침. 국립환경과학원.

Anderson, R.O. and R.M. Neumann. 1996. Length, weight, and associated structural indices. p. 447-482 In: Fisheries Techniques, 2nd edition (Murphy, B.R. and D.W. Willis, eds.). American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA.

Ganasan, V. and R.M. Hughes. 1998. Application of an

index of biological integrity (IBI) to fish assemblages of the rivers Klan and Kshipra (Madhya Pradesh), India, *Freshwater Biology* 40: 367-383.

Karr, J.R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6(6): 21-27.

Karr, J.R., K.D. Fausch, P.L. Angermeier, P.R. Yant and I. J. Schlosser. 1986. Assessment of biological integrity in running waters: A method and its rationale. Illinois Natural History Survey Special Publication 5, Champaign. Illinois, USA.

LeCren, E.D. 1951. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch *Perca fluviatilis*. *Journal of Animal Ecology* 20: 201-219.

Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.* 3: 36-71

McNaughton, S.J. 1967. Relationship among functional properties of California Glassland. *Nature* 216: 168-169.

Naiman, R.J., J.M. Melillo and J.E. Hobbie. 1986. Ecosystem alternation of boreal forest streams by beaver (*Castor canadensis*). *Ecology* 67: 1254-1269

Nelson, J.S. 1994. Fishes of the world (3rd ed.). John Wiley & Sons, New York, USA.

Ohio Environmental Protection Agency (OEPA). 1987. Biological Criteria for the Protection of Aquatic Life: Volume II. Users Manual for Biological Field Assessment of Ohio Surface Waters. Division of Water quality Monitoring and Assessment, Surface Water Section. Columbus, Ohio, USA.

Pielou, E.C. 1975. Ecological Diversity, John Wiley and Sons, New York, USA.

Poff, N.L., J.D. Allan, M.B. Bain, J.R. Karr, L.L. Prestegard, B.D. Richter, R.E. Sparks and J.C. Stromberg. 1997. The natural flow regime. *Bioscience* 47: 769-784.

Schmitt, C.J. and G.M. Dethloff. 2000. Biomonitoring of environmental status and trends (BEST) program; selected methods for monitoring chemical contaminants and their effects in aquatic ecosystems. U.S Geological Survey, Biological Resources Division, Information and Technology Report, USGS/BRD/TTR-2000-0005.

Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana.

Strahler, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *American Geophysical Union Transactions* 38: 913-920.

(Manuscript received 10 May 2009, Revision accepted 11 June 2009)