

연구논문

평림천 어류군집에 관한 연구  
- 평림댐 상·하류 수질 및 하천건강성평가와 함께 -

서진원

한국수자원공사 K-water연구원  
(2009년 4월 9일 접수, 2009년 6월 20일 승인)

A Study on Fish Community in Pyeonglim Stream  
- with Water Quality and Stream Health Assessment in Up- and Downstream of Pyeonglim Dam -

Jinwon Seo

Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation  
(Manuscript received 9 April 2009; accepted 20 June 2009)

Abstract

In order to use fundamental data for conservation of species diversity and stream health with dam development, fish investigation in up- and downstream of Pyeonglim Dam was seasonally conducted in 2007~2008. In addition, data of water qualities, investigated for environmental impact assessment, were used to determine a water quality standard level in Pyeonglim Stream, and it revealed that water environment condition was good in the stream. During the study period, a total number of fish caught from the 4 study sites was 5,449 representing 9 families 25 species, and there were 8 Korean endemic species (32.0%) including *Rhodeus uyekii*, *Squalidus gracilis majimae*, and *Microphysogobio yaluensis*. Two species of *Zacco temminckii* (37.5%) and *Zacco platypus* (26.3%) were dominant and subdominant in all sites. There were few individuals of the 2<sup>nd</sup>-class endangered species (Sand lamprey, *Lampetra reissneri*) and the introduced species (Bluegill, *Lepomis macrochirus*), found in the upstream of the dam. and further investigation for conservation of the endangered species and for prevention of the introduced species is needed in future. With fish fauna and multi-metric health assessment model in each sampling attempt, index of biotic integrity(IBM) was evaluated and it resulted mostly in good(26~35) and excellent(36~40) condition in all sites. The results indicate that it is very important to study not only environmental impact assessment with fish composition but also stream health assessment in order to conserve healthy aquatic ecosystem.

Keywords : Dam construction, Environmental impact assessment, Fish community, Index of biological integrity, Stream health assessment

## I. 서론

우리나라는 몬순기후 특성상 하절기(7~9월)에 강우가 집중되며 이 시기를 제외하고는 거의 대부분의 하천에서 건천화가 진행되는 특징을 가지고 있다. 강우시기를 제외한 갈수기 시 물 부족 현상을 완화시키고 안정적인 수자원 확보를 위하여 현재까지 다양한 규모의 많은 댐이 건설되어 왔으며 또한 계속적으로 추진되고 있는 실정이다. 이렇게 건설된 댐은 긍정적인 면에 해당하는 홍수조절 및 안정적인 용수공급과 최근 레저(낚시, 수상스키 등)가 가능하다는 점과 함께 댐 상·하류 간 하천생태계의 단절로 인한 교란을 발생시키고, 오염원 유입 및 정수역 확대를 통한 수질변화를 염려하는 등 부정적인 면 두 가지를 모두 가지고 있다.

우리나라는 1960년대부터 지속적인 고도성장을 추진해왔으며 급속히 진행된 산업화·도시화와 더불어 환경문제도 다양화되고 심각화 되기에 이르렀다. 이에 소극적이며 미온적인 것으로 비판받았던 공해방지법을 보다 능동적인 환경대책법으로 정비 및 확충하여 1977년대 말 환경보전법을 제정·공포하였다. 이와 함께 환경관계법령의 대폭적인 정비와 보완을 통해 1981년 3월 환경영향평가제도의 도입이 이루어져, 1986년 수계별·영향권역별 관리기반을 확립하게 되었으며, 이에 따라 환경보전의 추진체계를 강화하였다(김동욱, 2004). 그리고 환경정책기본법에 따라 2000년 8월 17일부터 시행된 사전환경성검토 제도는 각종 개발계획이나 개발 사업을 수립·시행할 경우, 초기 단계에서 입지의 타당성 및 주변 환경과의 조화 등 환경에 미치는 영향을 고려하여 개발과 보전의 조화, 다시 말해 친환경적인 개발을 목적으로 도입된 제도이다(송호복 등, 2005; 함태성, 2004). 이에 따라 사전환경성검토 및 환경영향평가를 통한 생물학적 변화에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있는 실정이다.

조사대상지인 평림천은 소하천으로 이 일대의 어류상 조사는 이루어지지 않았으며, 거의 대부분이 영산강 본류(광주광역시, 2005, 2006, 2007; 송태곤, 1991; 송태곤·김재근, 1995; 송태곤·양효석,

1995; 최지웅·안광국, 2008b)와 황룡강 일대의 사후환경영향평가 수준의 조사(한국수자원공사, 2006; 광산문화원, 1999)로 생물분류군을 활용하여 종 특성 및 분포현황, 군집분석 등의 단편적인 연구만이 진행되어 왔으나 수환경 내 생물 서식특성 및 하천건강성에 대한 정보의 부재로 인해 수생태계의 통합적인 건강성을 평가하기 어렵기 때문에 하천 내 수질상태와 생물을 통합적으로 연구하는 수생태계 평가법이 절실히 요구되고 있는 실정이다(Karr, 1981). 이에 따라 최근 우리나라 하천에 적합한 건강성 평가 모델을 개발 후 도심하천 및 산간계류형 하천에 적용·평가하여 생태계 건강평가를 실시하여 많은 실효를 거두고 있다(안광국 등, 2001; 최지웅·안광국, 2008a; 이의행 등, 2008; 한정호·안광국 2008).

본 연구에서는 평림댐의 상·하류 어류조사를 통하여 종별 분포현황 및 군집분석, 지점별 하천 건강성을 파악하고자 하였다. 이는 궁극적으로 평림천 내 하천의 건강성을 지속적으로 유지하기 위함이며 도출된 자료는 향후 해당지역의 어류 변화상을 파악하는데 기초자료로 활용하고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 조사대상 지역 및 시기

평림댐은 전남 서부권 지역(장성, 함평, 영광, 담양)에 일 최대 30,000m<sup>3</sup>의 생·공용수를 안정적으로 공급하기 위하여 건설되었으며 높이는 37.3m이고 댐 길이는 390.5m이며, 수몰면적은 0.89km<sup>2</sup>이다. 황룡강의 지류인 평림천의 상류지역에 건설된 평림댐의 총 저수용량은 8.47×10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>이고 유효저수량은 8.05×10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>이며, 용수공급량은 11.8×10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/년이다. 평림천은 황룡강 지류의 지방 2급 하천으로서 유역면적은 19.89km<sup>2</sup>이며 연평균 유량은 14.1×10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/년(0.0448m<sup>3</sup>/sec)이다.

평림댐 상류 2지점과 하류 2지점으로 나누어 2007년부터 2008년까지 분기별로 각각 4회씩 어류조사를 실시하였고, 각 지점의 행정구역 명칭은

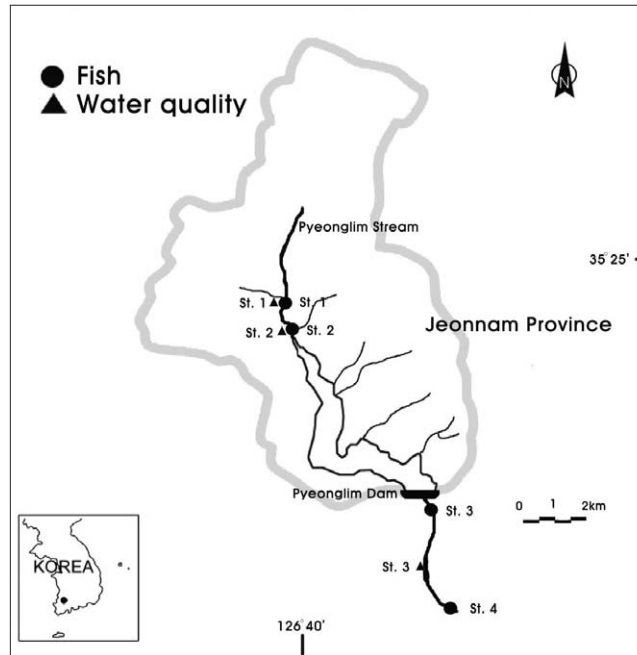


Figure 1. The map showing sampling sites in up-and downstream of Pyeonglim Dam. The grey line indicates the dam watershed

아래와 같다(Figure 1).

『평림댐 상류』

St. 1: 전라남도 장성군 삼계면 수산리

St. 2: 전라남도 장성군 삼계면 덕산리

『평림댐 하류』

St. 3: 전라남도 장성군 삼계면 수옥리

St. 4: 전라남도 장성군 삼서면 흥정리

## 2. 조사방법

### 1) 수질 조사

댐건설과 관련하여 평림천 수질 측정을 통한 어류 서식환경 변화를 확인하기 위해 한국수자원공사(2007, 2008a)에서 수행한 사후환경영향조사 중 수질 조사부분의 2007년 3월부터 2008년 11월까지 분기별로 측정된 32개 항목 중 15개 주요 항목 자료를 참고하였다. 현장에서 즉시 측정 가능한 수온, 용존산소, pH, 전기전도도는 물론 실험실로 운반하여 측정되는 BOD, COD, SS, E-coli, Chl-a와 영양염류 계통(TN, TP, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>), 그리고 중금속 중 Al을 대상으로 비교·분석하였다.

### 2) 어류 조사

평림댐의 각 조사지점 상·하류 100m 내외에서 두 명의 조사자가 하천을 따라 이동하며 각각 투망(망목 7×7mm)과 족대(망목 4×4mm)를 사용하여 1시간가량 어류조사를 실시하였다. 채집된 어류는 현장에서 동정하였고, 개체수 확인 후 즉시 놓아주었으나 동정이 불가능한 개체나 표본 및 계측이 필요한 경우에는 10% 포르말린 용액에 고정하여 실험실로 운반하여 최기철 등(1990)과 김익수·박종영(2002)을 활용하여 동정하였다. 전반적인 어류 분류체계는 김익수 등(2005), Nelson(1994)을 참고하였다.

## 3. 군집분석

지점별 어류조사를 통한 군집분석은 먼저 환경의 변화가 악화될수록 특정종의 우세가 나타나므로 환경의 변화에 대한 지표로 삼고자 McNaughton(1967)의 우점도(Dominance index: DI)와 Margalef의 정보이론에 의하여 유도된 Shannon-Wiener function(Shannon and Weaver, 1949)

을 사용하여 종다양도(Species diversity:  $H'$ )를 산출하였다. 또한 종 구성의 균일한 정도를 나타내는 균등도(Evenness index:  $E$ )는 Pielou(1975)의 식을 사용하였으며, 풍부도(Richness index:  $RI$ )는 Margalef(1958)의 지수를 활용하여 산출하였다.

#### 4. 하천건강성평가(Index of Biotic Integrity, IBI)

최근 환경부의 수생태계 건강성조사 및 평가를 바탕으로 어류에 의거한 건강성평가 모델의 등급 산정은 초기에 개발된 Ohio EPA(1989) 및 US EPA(1993)의 등급기준에 의거하였으며 안광국 등(2001)에 의해 국내 서식 환경에 맞게 수정된 8개 메트릭으로 나누어 각 점수를 합산하여 최대 가능 점수 " $8 \times 5 = 40$ 점", 최저 점수 " $8 \times 1 = 8$ 점"으로 나타내어 지수화 하였다(환경부, 2006, 2007; Strahler, 1957). 이처럼 산정된 점수는 최적(40~36, Excellent, A), 양호(35~26, Good, B), 보통(25~16, Fair, C), 불량(15이하, Poor, D)의 4 등급으로 구분되어 지점 간 비교분석 하였다.

#### 5. 자료 분석

평림댐 상·하류 3개 지점의 이화학적 자료와 4개 지점의 어류 군집분석 지수자료, 그리고 각 지점별 어류상을 이용한 건강성평가(IBM) 자료를 이용하여 중앙값, 25, 75th 백분위를 포함하는 vertical box plot을 활용하였다. 또한 위에서 도출된 지수는 sigmaplot 9.0 version을 이용하여 표현하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 수질 항목 분석

현장에서 측정된 수온, 용존산소, 수소이온농도(pH), 전기전도도 및 실내분석 항목인 부유물질(SS), 총대장균수(E-coli)의 경우 지점별로 다소 계절에 따른 변화를 나타냈지만 큰 차이를 보이지는 않았다(Figure 2). 지점별 용존산소는 대부분 포화농도 부근으로 나타나 용존산소 부족에 의한 수질오염은 거의 없는 것으로 판단되며, 이는 모두 수질환경

기준 중 매우 좋은 수질을 나타내는 Ia 등급인  $7.5 \text{ mg L}^{-1}$  이상에 해당되었다. 수소이온농도 또한 분기별 조사 결과 수질환경기준 중 좋은 수질을 나타내는 Ia 등급 기준인 6.5~8.5 이내의 값을 보였다. 부유물질은 수중에 용해되지 않고 부유하는 물질로 조사 결과 용존산소 및 수소이온농도와 같이 모든 지점에서 수질환경 기준 Ia 등급을 나타내었다. 반면 대장균수는 2007년 조사에서는 지점 1을 제외하고는 Ib의 "좋음"을 나타내었으나, 2008년 조사에서 조사 지점별로 증가하는 경향을 보여 모든 조사 지점에서 수질환경기준 "보통"을 나타내는 III등급으로 나타났다(Figure 2).

하천 및 호소에서 유기물 오염 정도를 나타내는 BOD, COD를 조사지점별 시기별로 확인한 결과 평림댐 상류에 해당하는 지점 1과 2에서는 대부분  $2 \text{ mg L}^{-1}$  이하로 수질환경기준 좋음(Ib)에 해당한 반면 댐하류에 해당하는 지점 3에서는 약간좋음에 해당하는 II등급으로 나타났다(Figure 2). Chl-a 농도역시 지점별 유기물오염농도와 비례하여 하류로 갈수록 높은 값을 보였다. 수질항목 중 영양염류에 해당하는 N, P의 경우 지점별로 매우 큰 폭의 변화를 보였다(Figure 2). 질소의 경우 T-N의 2008년 조사지점 평균은  $0.963 \text{ mg L}^{-1}$ 로 2007년 평균인  $1.458 \text{ mg L}^{-1}$ 보다는 감소하였지만 여전히 높은 영양 상태를 나타내고 있다. 반면 인(P)의 경우 2007년과 2008년 모두 평균  $0.043 \text{ mg L}^{-1}$ 에 해당하였다. 한편 수질조사 지점 모두에서 Cu, Pb, Hg, Cd, As와 같은 중금속 등은 검출되지 않았으며 음용수수질기준 허용치 내에서 Al, Zn, Mn은 2007년보다 약간 증가하는 경향을 나타냈다(Figure 2).

#### 2. 어류상

평림댐 상·하류에서 2007년부터 2008년까지 2년에 걸쳐 어류를 조사를 실시한 결과 총 9과 25종 5,449개체가 포획되었다. 조사된 25종 가운데 잉어과 어류는 15종(60%)이 확인되었고, 다음으로 미꾸리과와 동자개과가 각각 2종(8%)씩 출현하였으며 나머지 과는 각각 1종(4%)씩 출현하였다(Table 1).

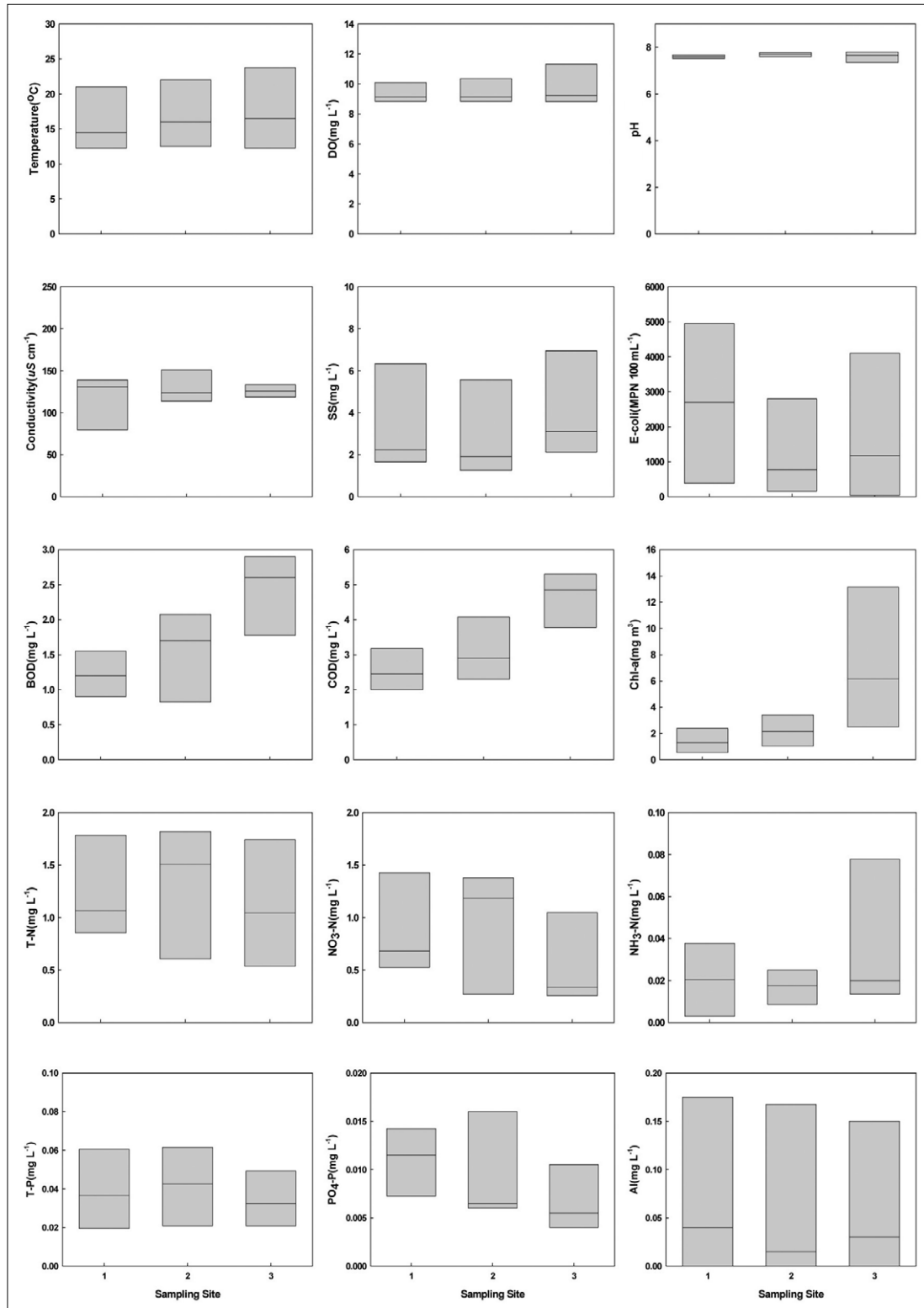


Figure 2. Range of water qualities with vertical box plot indicating median in each sampling site

이렇게 잉어과, 미꾸리과 어류의 출현빈도가 높게 나타난 것은 우리나라 서남해로 유입되는 하천의 전형적인 특징이라고 할 수 있다. 한국고유종은 각 시붕어 등 총 8종(32.0%)으로 김익수(1995)에서 언급된 국내 하천의 고유화빈도 수치보단 높게 나타났다. 조사된 어류 중 우점종은 하천 중·상류에 주

로 서식하는 갈겨니(37.5%)로 확인되었으며 아우점종은 피라미(26.3%)로 나타났다. 그 다음으로 긴볼개(8.8%), 돌마자(6.6%), 돌고기(6.4%)의 순으로 나타났다. 비교풍부도 0.1%미만의 소수 개체만이 확인된 종은 멸종위기종인 다묵장어 외 4종으로 나타났다(Table 1). 다묵장어는 두 차례 조사에 걸쳐

Table 1. A list of fish species and number of individuals caught from the sampling site in 2007 and 2008

Species	Common name	To	Tr	Ha	Sampling site				Total	RA	Re.
					St.1	St.2	St.3	St.4			
<b>Petromyzonidae</b>											
<i>Lampetra reissneri</i>	Far eastern brook lamprey	SS	O		2	1			3	0.06	E
<b>Cyprinidae</b>											
<i>Carassius auratus</i>	Crusian carp	TS	O		8	18			26	0.48	
<i>Rhodeus ocellatus</i>	Rose bitterling	IS	O					9	9	0.17	
<i>Rhodeus uyekii</i>	Korean rose bitterling	IS	O		81	46	7	60	194	3.56	K
<i>Rhodeus notatus</i>		IS	O			1	3	24	28	0.51	
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	Slender bitterling	IS	O					19	19	0.35	
<i>Acanthorbodeus gracilis</i>	Korean spined bitterling	IS	O					9	9	0.17	K
<i>Pseudorasbora parva</i>	False dace	TS	O					1	1	0.02	
<i>Pungtungia herzi</i>	Striped shinner	IS	I		102	69	78	97	346	6.35	
<i>Sarcocheilichthys nigrifinnis morii</i>	Korean oily shinner	IS	I					28	28	0.51	K
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	Korean slender gudgeon	SS	I		149	157	105	67	478	8.77	K
<i>Pseudogobio esocinus</i>	Goby minnow	IS	I			5	38	30	73	1.34	
<i>Microphysogobio yaluensis</i>		IS	O	RB	129	95	73	64	361	6.63	K
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	Chinese minnow	SS	I		3		1		4	0.07	
<i>Zacco temminckii</i>	Dark chub	SS	I		655	411	325	651	2042	37.47	
<i>Zacco platypus</i>	Pale chub	TS	O		278	444	309	403	1434	26.32	
<b>Cobitidae</b>											
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	Muddy loach	IS	O		7	4	1	2	14	0.26	
<i>Cobitis lutheri</i>	Sand spine loach	IS	I		55	51	46	37	189	3.47	
<b>Siluridae</b>											
<i>Silurus asotus</i>	Far eastern catfish	TS	C				1		1	0.02	
<b>Bagridae</b>											
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	Korean bullhead	TS	I				6		6	0.11	
<i>Pseudobagrus koreanus</i>	Black bullhead	SS	I	RB		21	34	33	88	1.61	K
<b>Amblycipitidae</b>											
<i>Liobagrus mediadiposalis</i>	South torrent catfish	SS	I	RB	6				6	0.11	K
<b>Odontobutidae</b>											
<i>Odontobutis platycephala</i>	Korean dark sleeper	SS	C				25	29	54	0.99	K
<b>Gobiidae</b>											
<i>Rhinogobius brunneus</i>	Common freshwater goby	IS	I	RB	5	10		16	31	0.57	
<b>Centrarchidae</b>											
<i>Lepomis macrochirus</i>	Bluegill	TS	I			5			5	0.09	I
Number of family					5	7	4	5	9		
Number of species					13	16	14	18	25		
Number of individuals					1,480	1,339	1,051	1,579	5,449		

K : Korean endemic species E : Endangered species I : Introduced species  
 RA : Relative abundance Re. : Remark To : Tolerance guild, Tr : Trophic guild, Ha : Habitat guild,  
 SS : Sensitive species, IS : Intermediate species, TS : Tolerant species O : Omnivore, I : Insectivore,  
 C : Carnivore, H : Herbivore, RB : Riffle-benthic species

댐 상류 두 지점에서 비록 소수 개체만이 확인되었지만 본 종의 중요성을 감안할 때 종의 보전방안 수립을 위한 중·장기 모니터링이 이루어져야 할 것으로 사료된다. 한편 2008년 1차 조사 시 평림천의 4개 조사 지점 중 지점 2에서 외래도입종인 블루길 5개체(0.09%)가 확인되었다. 이종은 비록 확인된 개체수가 적지만 생태계 교란어종으로 한국고유종 및 토착어종의 서식을 위협하고, 이들의 번식능력을 감안하면 저수지 가장자리에서 개체수 증가의 가능성이 높아 이들에 대한 꾸준한 모니터링과 서식분포의 확인을 위한 조사가 필요하다고 사료된다.

### 3. 군집분석

각 지점별 조사된 어류상을 이용한 군집분석 결과 포획된 우점종 및 아우점종의 개체수를 이용하여 나타내는 우점도지수는 조사 지점 중 최상류에 속하는 지점 1과 지점 2에서 높은 우점도 값을 보였다(Figure 3). 이는 일반적으로 하류에서 상류로 갈수록 종 조성이 단순해짐에 따라 특정종이 우점하는 비율이 높기 때문으로 사료되지만 4개 조사 지점의 중앙값 측면에서 큰 차이를 보이지 않았으며, 각

지점의 평균값 또한 가장 높은 곳은 지점 2로 0.67을 나타내었고, 가장 낮은 우점도값을 보인 지점은 3지점으로 0.60을 나타내 각 지점별로 큰 차이는 나타나지 않음을 확인할 수 있었다. 군집의 종 풍부도와 개체수의 상대적 균형성을 의미하는 다양도 지수는 지점 4에서 평균 1.81로 상대적으로 높은 지수값을 보였고 그 외 지점에서는 1.60~1.74의 범위를 보여 하류로 갈수록 다소 높아지는 경향을 보였다(Figure 3). 균등도 지수는 군집 내 종 구성의 균등한 정도를 나타내는 것으로 3지점에서 평균 0.78로 가장 높은 값을 보였으며 조사 지점 중 최하류에 해당하는 지점 4에서 다소 낮은 0.68을 나타내었다. 하지만 중앙값의 측면에서 보면 지점 간 균등도 값은 큰 차이를 보이지 않았다(Figure 3). 풍부도 지수는 종의 개체수와 종의 수만으로 군집을 평가하는 것으로 최하류 지점인 지점 4에서 평균 2.56으로 가장 높게 나타났고 최상류 구간인 지점 1에서 가장 낮은 값인 1.62로 나타났으며, 지점 3과 4에서 1.70~1.74로 확인되어 전체적으로 하류로 갈수록 풍부도값은 높아지는 경향을 보였다. 중앙값 측면에서는 하류로 갈수록 점차 높아지는 경향을 보이

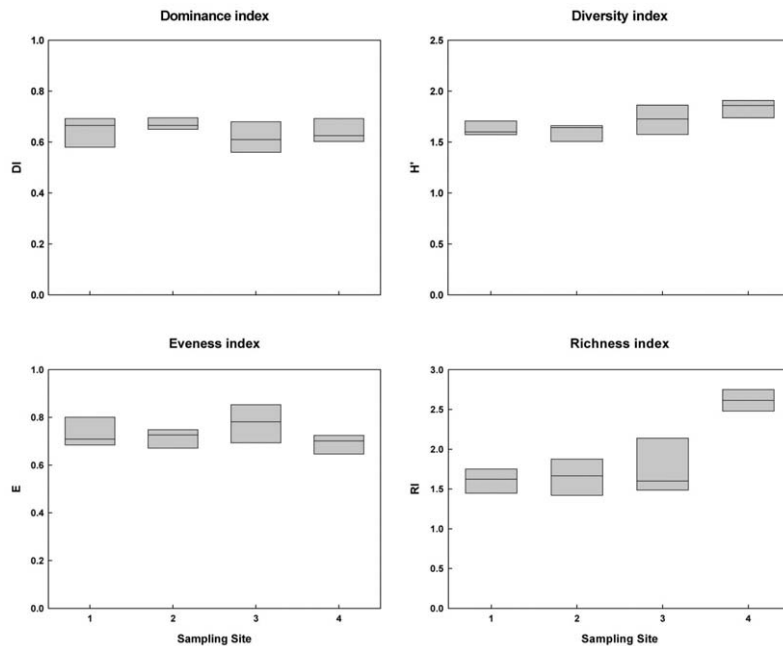


Figure 3. Community analysis with fish caught in each sampling site

지만 지점 1에서 지점 3까지 큰 차이를 보이지 않았다(Figure 3).

#### 4. 어류를 이용한 하천건강성평가

평립댐 상·하류에서 어류조사 자료를 활용하여 James Karr가 개발한 하천건강성평가(Index of Biotic Integrity, IBI)를 우리나라의 실정에 맞게 수정된 하천건강성평가 기법을 적용한 결과 평립천의 하천 건강성은 대부분이 양호(26~35)를 보였으며 지점 4에서 가장 높게 나타나 양호에서 최적(36~40)까지의 점수를 나타냈다. 이는 2차 하천인 평립천에서 댐이 건설되어 유량이 조절되고 있지만 현재까지 수질오염이나 서식지 교란 등 어류가 생활하는데 악영향을 끼치는 영향이 거의 없는 것으로 사료된다(Figure 4).

평립댐과 거의 유사한 하천차수를 지닌 경상북도에 건설되는 화북댐 예정지인 위천에서 하천건강성평가를 실시한 결과도 역시 모든 조사지점에서 대부분이 양호(26~35)에서 최적(36~40)의 점수를 보이는 것으로 나타나 평립댐과 화북댐 예정지에서 실시한 IBI 결과 비슷한 양상임을 확인할 수 있었다(한국수자원공사, 2008b). 하지만 화북댐에서 2007년 4차 조사 시 지점 4에서 하상정비과정으로 서식지 교란 및 탁수 발생 등으로 가장 낮은 등급인 D등급(불량, ≤15)으로 14점을 나타내다가 곧바로

회복된 적이 있어, 앞으로 평립댐 상·하류에서 하천공사가 이루어질 경우 이에 대한 영향을 최소한으로 줄이는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

#### 5. 과거 출현 어종과의 비교

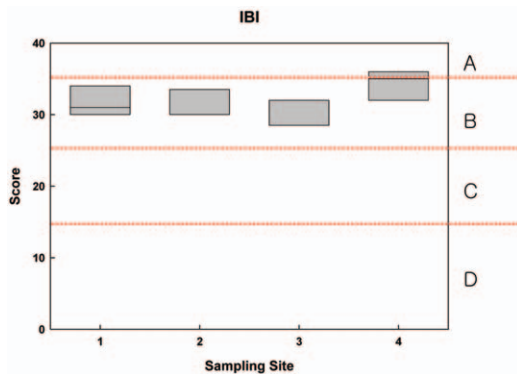
평립댐이 건설된 평립천에서 2002년부터 2008년까지 7년에 걸쳐 확인된 어류는 총 9과 30종으로 나타났다(한국수자원공사, 2008a). 이 일대에서 확인된 어류는 2002년 14종이 확인되었던 것이 꾸준히 증가하는 경향을 보여 2008년 조사에서는 24종으로 나타났다. 출현한 어류 중 2002년부터 2008년까지 꾸준한 출현이 있는 종은 총12종(붕어, 각시붕어, 돌고기, 긴물개, 모래무지, 돌마자, 버들치, 갈겨니, 피라미, 점줄종개, 동사리, 밀어)으로 나타났다. 비록 1개체이기는 하지만 2008년 조사에서만 메기가 확인되었으며, 2007년과 2008년에만 확인된 종은 5종(다묵장어, 가시납지리, 중고기, 눈동자개, 자가사리)으로 나타났다. 하지만 이들 어류가 이 지역에서 새로이 출현한 종이라 보기는 어려우며 평립천 일대의 포획 장소 및 시기의 영향인 것으로 판단된다. 또한 타 댐에서 문제시 되고 있는 외래도입종인 블루길은 비록 소수 개체이기는 하지만 댐 가장자리에서 확인되고 있어 이들 종의 저감방안이 마련돼야 할 것으로 사료된다.

### 사 사

본 연구는 한국수자원공사에서 실시한 “07, 08년 평립댐 건설사업 환경영향조사”의 일환으로 수행되었으며, 원활한 연구를 위해 협조해주신 박종우, 박석효 과장님, 그리고 현장조사를 도와주었던 임인수, 김희성 연구원에게 감사드립니다.

### 참고문헌

- 광산문화원, 1999, 어등산 학술조사 보고서, 289-300.
- 광주광역시, 2005, 영산강·섬진강 치수대책사업



A: Excellent(36~40), B: Good(26~35), C: Fair(16~25), D: Poor(≤15)

Figure 4. Stream health assessment with index of biotic integrity (IBI)



- 환경영향조사 결과보고서, 187-210.
- 광주광역시, 2006, 영산강·섬진강 치수대책사업 환경영향조사 결과보고서, 195-220.
- 광주광역시, 2007, 영산강·섬진강 치수대책사업 환경영향조사 결과보고서, 283-309.
- 김동욱, 2004, 환경영향평가, 도서출판 그루.
- 김익수, 1995, 한국의 위기 담수어류의 서식현황과 보존, 한국생태학회, 어류학회 공동 심포지움 발표 논문집, 31-50.
- 김익수, 박종영, 2002, 한국의 민물고기, 교학사.
- 김익수, 최 윤, 이충렬, 이용주, 김병직, 김지현, 2005, 원색한국어류대도감, 교학사, 1-615.
- 송태근, 1991, 영산호로 유입되는 수계 소하천의 어류상, 연안생물연구, 8, 21-37.
- 송태근, 김재근, 1995, 영산강 본류 상류 수계의 어류상에 대하여, 연안생물연구, 12, 59-69.
- 송태근, 양효석, 1995, 영산강 본류 중류 수계의 어류상에 대하여, 연안생물연구, 12, 71-82.
- 송호복, 백현민, 이춘원, 2005, 담수어류의 종생물지수를 이용한 강릉 남대천의 수환경평가, 한국환경영향평가학회, 14(4), 237-245.
- 안광국, 염동혁, 이성규, 2001, 생물보전지수의 신속한 생물평가 기법을 이용한 갑천 수계의 평가, 한국육수학회, 19(4), 261-270.
- 이의행, 윤상훈, 이재훈, 안광국, 2008, 하천 서식지 특성에 따른 피라미(*Zacco platypus*)의 총수는 함량 및 생태 건강성 분석, 한국하천호수학회, 41(2), 188-197.
- 최기철, 전상린, 김익수, 손영목, 1990, 원색 한국담수어도감, 향문사, 1-277.
- 최지용, 안광국, 2008a, 다각적 수환경지표를 이용한 영산호의 생태영향 평가. 한국하천호수학회, 41(2), 155-165.
- 최지용, 안광국, 2008b, 영산강 수계의 어류 종 조성 및 분포특성 분석, 한국하천호수학회, 41(3), 301-310.
- 한국수자원공사, 2006, 섬진강·영산강 유역조사.
- 한국수자원공사, 2007, '07 평림댐 및 이설도로공사 환경영향조사.
- 한국수자원공사, 2008a, '08 평림댐 및 이설도로공사 환경영향조사.
- 한국수자원공사, 2008b, 화북댐 사후환경영향조사.
- 한정호, 안광국, 2008, 남양호에서 다변수 메트릭 모델 적용 및 평가, 한국하천호수학회, 41(2), 228-236.
- 함태성, 2004, 사전환경성검토제도의 법적과제, 한국법제연구원, 1-74.
- 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.
- Karr, J. R., 1981, Assessment of biotic integrity using fish communities, *Fisheries*, 6, 21-27.
- Margalef, R., 1958, Information theory in ecology, *Gen. Syst*, 3, 36-71.
- McNaughton, S. J., 1967, Relationship among functional properties of California grassland, *Nature*, 216, 168-169.
- Nelson, J. S., 1994, *Fishes of the world*(3rd ed.), John Wiley & Sons, New York.
- Ohio Environmental Protection Agency (Ohio EPA), 1989, Addendum to 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*, Wiley, New York, 165.
- Shannon, C. E. and Weaver, W., 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.

United State Environmental Protection Agency (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, USEPA, Cincinnati, Ohio, USA.

최종원고채택 09. 06. 26