

## 용담댐 하류의 하천건강성 평가 및 어류 서식처를 고려한 최적 생태유량 산정

### Assessment of Riverine Health Condition and Estimation of Optimal Ecological Flowrate Considering Fish Habitat in downstream of Yongdam Dam

허 준 옥\* / 김 정 곤\*\*

Hur, Jun Wook / Kim, Jeongkon

#### Abstract

In this study, a comprehensive field monitoring was conducted to understand habitat conditions of fish species in the upper Geum river. Based on the monitoring data, riverine health conditions such as composition ratio of fish species, richness and dominance indexes, bio-diversity (dominance index, diversity, evenness and richness), and index of biological integrity were assessed, and optimal ecological flowrates were estimated using the habitat suitability indexes established for three fish species *Coreoleuciscus splendidus*, *Zacco platypus* and *Pseudopungtungia nigra* selected as icon species using the physical habitat simulation system (PHABSIM). The total number of species sampled was 20 species, and two sensitive species of *C. splendidus* (22.4%) and *Z. platypus* (22.0%) dominated the fish community. The estimated IBI values ranged from 34 to 42 with average being 38 out of 50, rendering the site ecologically fair to good health conditions. An optimal ecological flowrate of 9.0 cms was recommended for the representative fish species at the site.

**keywords** : fish habitat, health assessment, ecological flow

#### 요 지

금강수계중 용담댐하류 앞섬 지점에서 생태유량을 산정하기 위한 생태 모니터링을 실시하여 어류종별 서식환경 특성조사를 포괄적으로 실시하였다. 이를 바탕으로 어류상, 상대풍부도 및 생물다양도 분석 등을 포함한 하천의 건강성 평가를 실시하고, 쉬리, 피라미 및 감돌고기 등에 대하여 작성한 서식처적합도 지수(HSI)와 물리적 서식처 모의시스템(PHABSIM)을 이용한 최적 생태유량을 산정하였다. 본 지점에서 채집된 종수는 20종이었으며, 우점종은 쉬리(22.4%), 아우점종은 피라미(22.0%)였다. 생태적 건강성은 50점 만점의 평가점수에서 34~42점으로 양호에서 좋은 상태로 나타났다. 3종의 대표어종에 대한 수심, 유속 및 하상재료에 대한 서식지적합도 지수를 물리적서식처 모의시스템에 적용한 결과 계절별로 유량의 차이를 보였으며, 3종에 대한 최적 생태유량은 9.0 cms로 추정하였다.

**핵심용어** : 어류서식처, 건강성 평가, 생태유량

\* 한국수자원공사 K-water연구원 수자원연구소 하천환경팀 위촉연구원

Researcher, River Environment Team, Water Resources and Environmental Research Center, K-water Research Institute, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 305-730, Korea

\*\* 교신저자, 한국수자원공사 K-water연구원 수자원연구소 하천환경팀 수석연구원

Corresponding Author, Head researcher, River Environment Team, Water Resources and Environmental Research Center, K-water Research Institute, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 305-730, Korea  
(e-mail: jkkim@kwater.or.kr)

## 1. 서론

하천의 생태계는 자연적인 환경에서 가장 잘 보존이 되는데, 산업의 발달과 개발 사업 등으로 하천의 생태 환경을 변화시켰다. 이러한 원인은 하천의 오염원 증가에 따른 오염물질의 유입, 홍수방지를 위한 하천정비 등의 다양한 요인에 의해 수질악화 및 생태계의 종 다양성 감소 등의 문제가 발생하고 있다. 하천의 자정 능력을 향상시키고 하천의 정상적인 기능을 회복하기 위해서는 수생물의 서식환경 조성, 오염원 차단 및 적정 하천유지유량 확보 등의 다양한 조건이 요구된다(Gore *et al.* 1989).

하천유지유량은 하천 생태계, 경관, 레저, 대안용수, 갈수량 및 수질환경 등을 고려하여 유량을 산정한다. 이 중 환경에 대한 사회적 관심이 높아지면서 하천 생태계를 고려한 유지유량의 중요성이 증가하게 되었다. 그러나 아직까지 생태계에 필요한 유량 산정 및 평가방법, 정량화 및 기초 database (DB) 등의 객관적 자료는 미흡한 실정이다. 특히, 어류 및 수생태계 복원을 위해 필요한 어류생태를 고려한 유량의 산정방법은 아직까지 기초적인 단계에 머물러 있는 상황이다.

미국은 1960년대부터 연어과(Salmonidae) 개체수가 감소하자 이에 대한 대책으로 어류서식처 보전을 위한 하천 생태유량에 관한 연구가 처음 소개되었으며, 이를 근거로 하여 물리적 서식처 모의시스템(Physical habitat simulation system, PHABSIM)(2001)에서 유량-WUA(가중가용면적) 관계를 제공하여, 어류서식에 필요한 유량을 산정하였다. 이와 더불어 1970년대부터 어류 및 야생동물국(Fish and Wildlife Service)에서 유지유량 증분법(IFIM)에 의한 어류 종별, 성장단계별 서식처 및 서식처 조건별 수량을 환산하여 하천 유지유량을 결정하는 연구가 진행되었다(Stalnaker *et al.*, 1995). 또한 미국환경청(USEPA) 및 미국지질조사국(USGS)에서는 “모니터링 프로토콜”을 확정하여, 어류 및 각종 생물에 대한 체계적이고 지속적인 모니터링을 실시하고 있다. 이를 이용하여 다학제간 공동 조사 및 서식환경 조건 분석 등을 연계한 결과를 도출하고 있으며, 하천 복원 및 기타 사업 등에 기초자료로 제공되고 있다.

일본의 경우, 하천에서 유수의 정상적인 기능을 유지하기 위하여 필요한 유량을 정상유량으로 규정하고, 주운, 어업, 관광, 경관 및 동식물의 서식지 등을 종합적으로 고려하여 유지유량을 산정하고 있다(국토교통성, 2001). 또한 건설성에서는 하천수변의 “국세조사 매뉴얼”을 작성하여 체계적인 연구를 실시하고 있다. 이 연구는 어류 및 패류, 저서생물, 식물, 양서류, 파충류, 포

유류 및 육상 곤충까지 매뉴얼로 제공하고 있다.

국내의 생태 환경을 고려한 유지유량에 대한 연구는 금강에 어류서식처를 고려한 유량 연구(우효섭 등, 1998), 피산 달천에 유량 및 수질을 고려한 유량 연구(김규호 등, 2000), 낙동강 유역 어류 서식환경을 고려한 유량 연구(성영두 등, 2005) 및 한강 지류에 어류서식 조건을 고려한 유량 연구(오국열 등, 2008) 등이 있으나, 수문학적인 조건과 생물생태학적 조건을 복합적으로 고려한 하천유지유량에 관한 연구는 미흡한 실정에 있다.

이전의 연구에서 어류 서식환경을 고려한 생태유량 산정과 관련하여 수리 및 수문학적인 조건과 어류생물학적인 조건에서 학제간의 상호연계가 잘 이루어지지 않은 부분이 많다. 본 연구에서는 어류에 필요한 생태유량산정 지점에 대하여 수문 및 생물학적인 상호연계를 통하여 금강 상류 수계 중 용담댐하류 앞섬 지점의 하천 건강성 평가와 어류생태 모니터링을 통한 어류종별 서식환경 특성을 조사하였다.

## 2. 현장조사 및 분석방법

### 2.1 대상지점

본 연구의 대상지점은 Fig. 1에서 보는 것과 같이 용담댐 하류 약 30 km 지점으로 5 km 상류 지점에서 무주남대천이 유입되는 무주군 오산리에 위치한 앞섬이다. 이 지점의 유속은 완만하며, 하상재료는 자갈, 호박돌 및 전석으로 구성되어 있다. 조사구간은 2개의 여울과 유수역 및 소가 형성되어 있으며, 하천 좌·우안에 다년생 초목류와 버들류가 서식하고 있다. 멸종위기종으로 분류된 감돌고기가 서식하며, 지역적으로 생태관련 축제(반딧불축제, 6월초)가 이루어지는 장소이다. 사

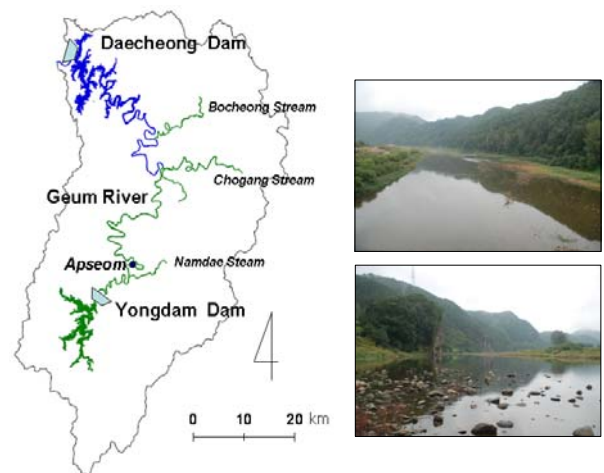


Fig. 1. Location Map and Pictures of the Study Site (Apseom, Muju Osanri)

전조사에서 본 지점의 하천특성을 고려하여 하상재료, 여울(riffle) 및 소(pool)의 분포, 주변 식생 및 경관에 대하여 확인하였다. 하천구조 및 특성 조사는 2008년 1월에 실시하였으며, 어류조사 및 유량 조사는 4, 6 및 9월에 실시하였다.

## 2.2 조사방법

사전조사에서 확인된 본 조사지점에 대하여 하천의 구조를 파악하기 위하여 광과기를 사용하여 4개의 횡단면을 측정하였다. 횡단면은 좌·우안 거리를 측정할 수 있는 줄자를 사용하여 하폭을 조사하였다. 또한 1 m 간격으로 유속계를 사용하여 유속을 측정하였으며, 유속 측정 시 하상재료의 분포를 기록하였다. 조사된 자료를 통하여 이 지점의 유량을 산정하였다. 하상재료는 크기에 따라 실트(0.1 mm 이하), 모래(0.1~1.0 mm), 잔자갈(1.0~50.0 mm), 굵은자갈(50.0~100.0 mm), 호박돌(100.0~300.0 mm) 및 전석(300.0 mm 이상)으로 나누었다(우, 2004).

어류채집은 방법에 따라 조사구간은 상·하류 각각 200 m 구간에서 60분씩 실시하였으며, 소, 여울 및 흐름이 있는 곳(run)을 모두 포함하여 조사하였다. 하천특성에 따라 어류의 채집은 투망(망목, 5×5 mm) 및 족대(망목, 3×3 mm)를 사용하였다. 투망으로 채집은 정량적 조사를 수행하기 위하여 15~20회씩 동일하게 투척하였으며, 족대는 하천 좌·우안 수초와 호박돌 주변에서 채집하였다. 투망 및 족대채집 지점에서 샘플 후에 유속계를 사용하여 유속 및 수심을 기록하였으며, 육안으로 하상재료를 확인하였다. 조사는 하류로부터 상류로 올라가면서 하천을 지그재그(zigzag)로 조사하였다. 현장에서 채집된 어류는 동정이 가능한 종은 현장에서 확인한 후 방류하였으며, 채집된 어류 중에서 분류 및 동정이 모호한 표본은 10% 포르말린 용액에 고정하여 연구실로 운반한 후 동정하였다. 어류의 동정은 김과 박(2002)의 문헌을 참고하였다.

## 2.3 건강성 평가방법

어류상 및 우점도 분석을 위해서 채집어류의 출현개체수에 따라 상대풍부도를 분류하였으며, 이를 근거로 하여 우점종(dominant species) 및 아우점종(sub-dominant species)을 확인하였다. 채집된 어류에 대해서 전체의 크기, 채집당시 수심 및 유속의 분포 범위를 분석하였다.

생물다양도(Bio-diversity)를 알 수 있는 어류 군집구조의 분석은 출현개체수, 우점종 및 군집지수 등을 이용하여 환경의 변화가 악화될수록 특정종의 우세를

나타내는 지표인 우점도지수(dominance index, McNaughton, 1967), 군집분석 시 가장 많이 쓰이고 있으며, 풍부성을 지닌 종뿐만 아니라 보다 희귀성을 지닌 종까지 가치를 부여하는 지표인 종다양도지수(diversity index, Pielou, 1975), 다양도 지수는 군집 내 모든 종의 개체 수가 동일할 때가 최대가 되므로 결국 균등도지수는 군집 내 종 구성의 정도를 나타내는 지표인 균등도지수(evenness index, Pielou, 1975) 및 군집 내에 존재하는 종의 수에 근거한 종의 밀도 지표인 풍부도지수(richness index, Margalef, 1968)를 Table 1에 제시한 식에 의하여 산출하였다.

생물보전지수(Index of biological integrity, IBI)는 다양한 지표를 활용하여 하천의 건강성을 평가하는데 이용된다. 생물보전지수(IBI) 값을 산정하기 위해 Karr (1981)과 안광국 등(2001)이 제시한 자료를 기초로 하여 생태지표 4개(우리나라 고유종수, 여울성 어종, 민강성 종수, 내성종수 빈도), 먹이습성지표 3개(잡식성, 육식성 및 충식성 어종의 상대빈도) 및 풍부도 및 건강성지표 3개(채집 총개체수, 외래 어종수, 비정상 개체수)로 구성된 총 10개의 지표를 사용하였다(Table 2). 각 지표에 대한 점수분류(1~5점) 및 기준선정(하천차수 및 어류 습성 등)은 Karr (1981)과 안광국 등(2001)이 제시한 방법을 이용하였다. 10개의 지표점수를 합계하여 점수분포에 따라 최적(47~50점), 양호(38~42), 보통(29~34), 악화(18~25), 및 최악(13 이하) 다섯 개 상태로 분류하였으며, 각 점수의 중간 값을 Table 3과 같이 나타내었다.

## 2.4 생태유량 산정방법

물리적 서식처 모의 시스템(PHABSIM)을 이용하여 흐름특성(유량-유속, 수심 등)의 변화에 대한 하도구간 내 대상어종의 물리적 서식처 변화를 예측하여 대상어종에 대한 유량-가용서식처면적 관계를 통해 서식에 필요한 최적 유량을 산정하였다(Petts and Maddock, 1998). 어류를 중심으로 하는 생태유량의 산정은 수위, 유량 및 하천단면 등의 현장 조사 결과와 본 조사에서 작성한 서식처적합도 지수(Habitat suitability index, HSI) 및 물리적 서식처 모의 시스템(PHABSIM)에 적용하여 어종별 가용서식처면적(WUA)-유량관계 곡선을 작성하였다.

서식처적합도 지수(HSI)는 특정 조사지점이나 구간에서 출현한 어종의 개체수를 기준으로 작성된다. 조사기간 동안 출현한 최대 개체수를 1.0으로 하고, 나머지는 최대 개체수에 대한 상대비율로 설정하였다. 이를 위해서 어류채집 이전에 하천 특성 및 횡단면 정보를

**Table 1. Formula Used for Bio-diversity Analysis**

Index	Formula
Dominance index (McNaughton, 1967)	$n_i/N \times 100$
Diversity index (Pielou, 1975)	$-\sum P_i \times \ln(P_i)$
Evenness index (Pielou, 1975)	$DI/\ln(S)$
Richness index (Margalef, 1968)	$(S-1)/\ln(N)$

(N : 총개체수,  $n_i$  : 제 i 번째 종의 개체 수,  $P_i$  :  $n_i/N$ , DI : 다양도지수(diversity index), S : 전체 종 수)

**Table 2. Fish Community Metrics, Scoring Criteria, and Class Boundaries for the Index of Biological Integrity (IBI) (after Karr, 1981; An *et al.*, 2002)**

Category	Metric component	Scoring criteria (%)		
		1	3	5
Species richness and composition	Total number of native species	<33	33-67	>67
	Total number of riffle-benthic species			
	Total number of sensitive species			
	Proportion of tolerant species	>20	5-20	<5
Trophic composition	Proportion of omnivore species	>45	20-45	<20
	Proportion of carnivore species	<1	1-5	>5
	Proportion of insectivores species	<20	20-45	>45
Fish abundance and condition	Total number of individual	<33	33-67	>67
	Proportion as a number of exotics species	>1	0-1	0
	Proportion as a number of abnormal individual			

**Table 3. Modified Score Interpretation for IBI Values (after Karr, 1981)**

Class	Index number
Excellent (E)	47~50
E-G	43-46
Good (G)	38~42
G-F	35-37
Fair (F)	29~34
F-P	26-38
Poor (P)	18~25
P-VP	14-17
Vary Poor (VP)	<13

었고, 본 조사에서는 어류 채집 이전에 각 지점에서 하천 특성과 단면정보를 조사하여 서식처적합도 지수(HSI) 산정에 이용하였다. 서식처적합도 지수(HSI)를 작성하는 방법으로는 이분법 및 단일변량곡선(univariate curve)을 주로 사용하였다. 따라서 본 연구에서는 하상재료에 대하여는 이분법을 수심과 유속에 대하여는 단일변량곡선을 적용하여 서식처적합도 지수(HSI)를 산출하였다. 서식처적합도 지수(HSI) 기준은 미국 워싱턴주 어류 및 야생동물국에서 제시한 "Instream flow study guidelines"를 기초로 하여 지수

로 산정하였다. 서식처적합도 지수(HSI)는 하천의 수심, 유속 및 하상재료에 대하여 산정하였다. 서식처적합도 지수(HSI)를 산정하기 위한 조사 전, 후의 순서는 다음과 같다. 첫째, 조사지점을 선정하여 사전 답사 및 조사 위치를 확인한다. 또한 횡단면에 물의 흐름을 방해하는 구조물이 없는 곳으로 선정하고, 여울, 소 및 우수역이 적당히 배열된 장소로 한다. 둘째, 광과기를 통한 하천 횡단면과 하천폭을 측정한다. 측량시 수심과 유속을 조사하여 유량을 산정한다. 셋째, 하천 정보를 컴퓨터로 저장하여 전체면적에 대한 해당 수심, 유속 및 하상재료 범위가 차지하는 면적을 백분율로 산정한다. 넷째, 하천 횡단면 측량 지역에서의 어류 채집을 실시한다. 어류 채집은 상법에 따라 실시하며, 현장에서 즉시 동정, 크기 및 마리수를 계수한다. 다섯째, 각 단면적별 관측기대치를 산정한다. 여섯째, 서식처적합도 지수(HSI)를 산정한다. 이러한 순서를 반복하여 최종 서식처적합도 지수(HSI)를 산정하고, 다른 연구자의 참고문헌 또한 어류 전문가와 논의를 통해 최종적으로 지수를 산정하였다. 이러한 과정에 의해 나타난 각 지수값은 물리적 서식처 모의 시스템(PHABSIM)으로 유량을 산정하였다.

서식처적합도 지수(HSI) 산정방법은 성영두 등(2005)

와 유사하게 산정하였으나, 차이점으로는 성영두 등 (2005) 연구자들은 생활사(life cycle)로 구분하여 서식처 적합도 지수(HSI)를 결정하고, 물리적 서식처 모의 시스템(PHABSIM)을 이용한 생태유량을 산정하였으나, 본 연구에서는 계절별(4, 6 및 9월)로 구분하여 산정하였다. 또한 본 연구에서 대표어종으로 선정한 쉬리, 피라미 및 감돌고기는 채집자료를 기초로 하여 여울성, 우점종, 채집개체수 및 종 중요성을 판단하여 선정하였다.

### 3. 결과 및 토의

#### 3.1 모니터링 결과

##### 3.1.1 어류상 및 우점종

본 지점에서 채집된 어류는 5과 20종(255마리)으로 우점종은 쉬리(22.4%)로 나타났으며, 아우점종(sub-dominant)은 피라미(22.0%)였다(Fig. 2). 멸종위기 보호 대상 어류로는 1급 감돌고기(12.2%)와 2급 꾸구리(0.4%)가 채집되었다. 우리나라 고유어종으로는 쉬리, 감돌고기, 줄납자루, 참갈겨니, 참종개, 참중고기, 칼납자루, 동사리, 꺾지 및 꾸구리가 채집되었다. 채집 어류 중 피라미, 쉬리 및 감돌고기 등 잉어과(Cyprinidae) 어류가 90% 이상 채집되었다. 이러한 어류상의 특징은 우리나라의 서해와 남해로 흐르는 하천의 공통된 특징으로 알려져 있다. 10%이상 어종은 4종으로 나머지는 그 이하를 나타내었다.

##### 3.1.2 채집어류의 크기, 유속 및 수심 분포

본 지점에서 채집된 어류 전체의 크기, 채집당시 수심 및 유속의 분포 범위를 Table 4에 요약하였다. 평균적으로 잉어와 동자개는 유속이 거의 없는 곳에서 채집되었으며, 꾸구리는 주로 여울의 바닥에 서식하고 있어 빠른 유속을 나타냈다. 감돌고기와 쉬리는 유속 범위가 거의 일치하였으며, 피라미는 이 두 어종 보다는 다소 광범위한 유속 범위에서 서식하는 것으로 나타났다. 쉬리, 모래무지, 참갈겨니 모두 1 m 이상의 수심에서도 채집 되는 것으로 나타났다.

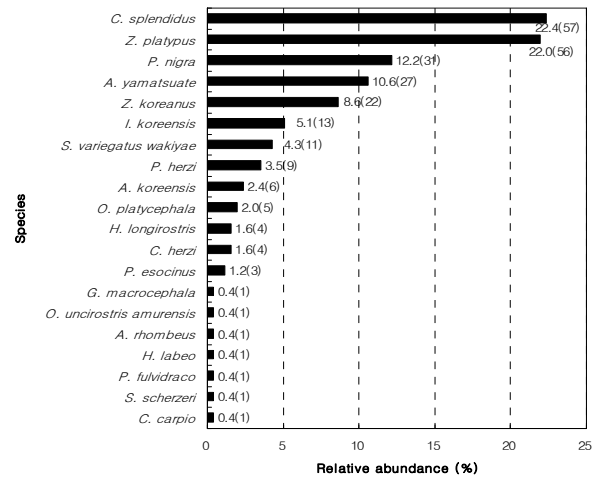


Fig. 2. Relative Abundance of Collected Fish (Numbers in Parenthesis Total Number of Individual Species)

Table 4. Velocity and Depth Distributions of Collected Fish Species

Species	Velocity (m/s)			Depth (m)		
	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
<i>Cyprinus carpio</i>	0	0	>0.1	0.8	0.8	0.8
<i>Acheilognathus koreensis</i>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
<i>Acheilognathus yamatsuete</i>	0.1	0.9	0.5	0.2	0.8	0.5
<i>Acheilognathus rhombeus</i>	0.3	0.3	0.3	0.8	0.8	0.8
<i>Pungtungia herzi</i>	>0.1	0.7	0.3	0.2	0.8	0.4
<i>Pseudopungtungia nigra</i>	>0.1	0.8	0.5	0.3	0.8	0.5
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	>0.1	0.8	0.5	0.1	<1.0	0.9
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>	>0.1	0.8	0.4	0.4	0.8	0.6
<i>Hamibarbus labeo</i>	0.1	0.1	0.1	0.7	0.7	0.7
<i>Hamibarbus longirostris</i>	>0.1	0.4	0.2	0.3	0.6	0.5
<i>Pseudogobio esocinus</i>	>0.1	0.3	0.1	0.4	<1.0	0.8
<i>Gobiobotia macrocephala</i>	0.8	0.8	0.8	0.3	0.3	0.3
<i>Zacco koreanus</i>	0	0.9	0.4	0.2	<1.0	0.6
<i>Zacco platypus</i>	>0.1	0.9	0.4	0.2	0.8	0.5
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
<i>Iksookimia koreensis</i>	0	0.8	0.4	0.3	0.4	0.3
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	>0.1	>0.1	>0.1	0.4	0.4	0.4
<i>Siniperca scherzeri</i>	0.3	0.3	0.3	0.8	0.8	0.8
<i>Coreoperca herzi</i>	>0.1	0.3	0.1	0.3	0.8	0.5
<i>Odontobutis platycephala</i>	0.1	0.5	0.2	0.3	0.5	0.4

### 3.2 건강성 평가

#### 3.2.1 생물다양도

Table 5의 생물다양도 분석결과 우점도 지수는  $0.53 \pm 0.15$ 로 군집안정도에서 다소안정상태로 나타났다 (0.9~1.0 : 매우불량, 0.7~0.9 : 불량, 0.5~0.7 : 다소양호 및 안정, 0.25~0.5 : 양호 및 안정, <0.25 : 매우양호 및 고안정). 다양도 지수도  $2.03 \pm 0.43$ 으로 비교적 높게 나타나 다소양호한 상태이다(>1.0 : 매우불량, 1.0~2.0 : 불량, 2.0~3.0 : 다소양호, 3.0~4.0 : 양호, 4.0< : 매우양호). 출현어종의 다양성을 나타내는 다양도 지수와 한 종이 우점을 나타내는 우점도 지수는 서로 상반관계의 개념으로서 본 연구에서 나타난 결과로는 환경이 양호한 것으로 사료된다. 한편 균등도 지수는  $0.87 \pm 0.11$ 로 나타나 비교적 어종이 고르게 분포하는 것으로 나타났으며, 종풍부도 지수는  $2.36 \pm 0.71$ 로 나타났다. 생물다양도 분석 결과로 볼 때 본 지점은 다양도 및 균등도 등에서 양호한 것으로 보여 진다. 이러한 것은 금강 상류 수계로서 오염원 유입이 적어 수질 등 환경 여건이 어류서식에 유리하게 작용한 것으로 판단된다.

Table 5. Bio-diversity analysis of collected fish

Dominance	Diversity	Evenness	Richness
0.53±0.15	2.03±0.43	0.87±0.11	2.36±0.71

#### 3.2.2 생물보전지수(IBM)

10개의 평가지표를 이용한 생태적 건강성 평가(IBM) 점수는 34~42까지 나타났다(Table 6). 어류의 풍부도 및 건강성 지표에서는 모든 조사 시기에 비교적 높은 점수를 나타내었다. 1차 조사 시 생태지표 중 여울성-저서종수가 비교적 다른 조사차수에 비하여 낮고, 잡식

성 빈도가 비교적 높게 출현하여 상대적으로 낮은 평가 점수를 얻었다. 또한 봄철인 4월에 비교적 다른 조사시기보다 유량이 적어 상대적으로 유속이 느리고, 수심이 낮아 어류서식 등 조건에 영향을 미친 것으로 판단된다. 활동성이 많은 어류는 유량이 감소하여 여울형성 등이 비교적 적어, 본 조사지점 범위를 벗어나 이동하였을 가능성도 추측하여 볼 수 있다. 3번의 조사 평균 점수는 38점으로 생물다양도 분석결과와 유사하게 좋은 상태를 나타내었다.

### 3.3 최적 생태유량 산정

#### 3.3.1 서식처적합도 지수(HSI) 산정

전체어류를 대상으로 서식처적합도 지수(HSI)를 평가하기는 채집개체수의 양이 적어 산정할 수 없었다. 또한 서식형태에서 바닥에서 주로 생활하는 어종(저서성)은 서식처적합도 지수(HSI) 산정에 어려움이 있어 배제하였다. 따라서 본 연구에서는 이 지점의 대표어종으로 쉼리, 피라미 및 감돌고기로 선정하였다. 대표어종으로 선정된 쉼리, 피라미 및 감돌고기에 대하여 전장, 유속 및 수심에 따른 채집개체수를 Fig. 3에 나타내었다. 쉼리의 경우, 7~10 cm 개체가 많이 채집되었으며, 피라미와 감돌고기는 10 cm 전후 어류가 많이 채집되었다. 유속의 경우, 쉼리와 피라미에서 0.2~0.4 m/sec, 감돌고기는 0.6~0.8 m/sec에서 가장 많이 출현하였다. 수심은 쉼리가 0.5 m, 피라미 0.4 m, 감돌고기 0.4 m 전후에서 많이 나타났다.

이 3종에 대하여 산정된 유속, 수심 및 하상에 대한 서식처적합도 지수(HSI)를 Table 7에 나타내었다. 유속의 서식처적합도 지수(HSI)는 유량이 가장 많았던 6월(여름)에 0.2~0.6 m/sec (쉼리), 0.1~0.6 m/sec(피라미), 0.2~0.7 m/sec (감돌고기)로 가장 광범위한 범위를

Table 6. Metric Scores and Indices of IBM for the Fish Communities

Sampling (month)	Species richness and composition				Trophic composition			Fish abundance and condition			Total score	Average score
	TNS	RBS	TSS	PTS	POS	PCS	PIS	TNI	PNES	PNAI		
1st survey (4)	3 (3)	2 (1)	4 (3)	18.9 (3)	21.6 (3)	2.7 (3)	75.7 (5)	24 (3)	0 (5)	0 (5)	34	38
2nd survey (6)	9 (3)	6 (3)	10 (3)	9.1 (3)	19.7 (5)	13.6 (5)	66.7 (5)	50 (5)	0 (5)	0 (5)	42	
3rd survey (9)	7 (5)	4 (3)	8 (5)	51.6 (1)	54.8 (5)	3.2 (3)	41.9 (3)	14 (3)	0 (5)	0 (5)	38	

Species richness and composition (TNS : total number of native species; RBS : total number of riffle-benthic species; TSS : total number of sensitive species; PTS : proportion of tolerant species), Trophic composition (POS : proportion of omnivore species; PCS : proportion of carnivore species; PIS : proportion of insectivores species), Fish abundance and condition (TNI : total number of individual, PNES : proportion as a number of exotics species; PNAI : proportion as a number of abnormal individual). IBM scores : very poor (<13), poor (13~25), fair (29~34), good (38~42), excellent (47~50).

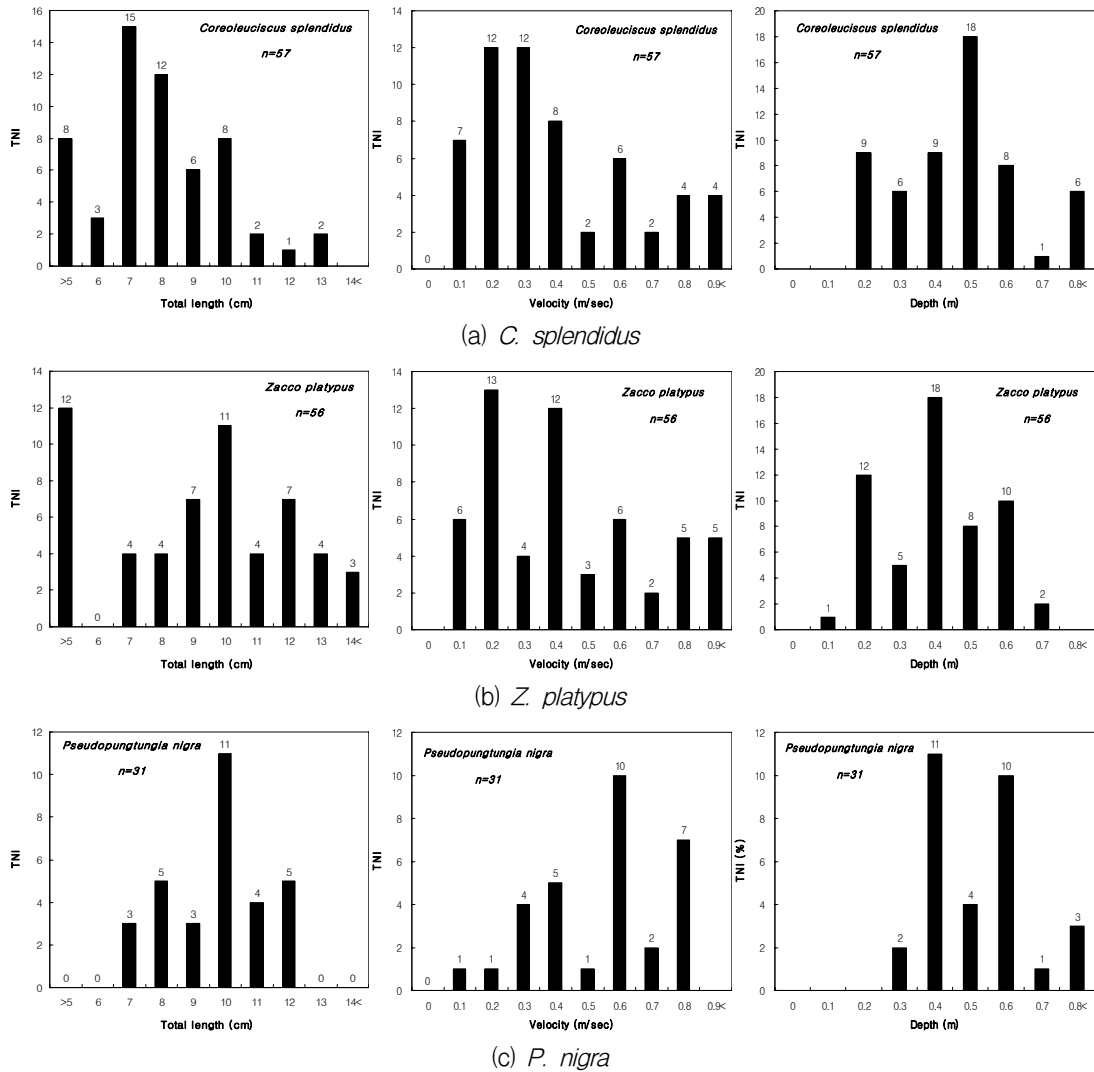


Fig. 3. Variations of Total Number of Individual (TNI) to Total Length, Velocity and Depth

나타났다. 3종에서 수심은 0.3~0.6 m에서 서식처 적합도 지수(HSI)를 나타내었다. 하상의 경우, 쉬리가 잔자갈(3.0)~굵은자갈(4.0)로 나타났으며, 피라미와 감돌고기는 모래~굵은자갈로 나타났다.

금강 하천유지유량 산정 결과에 의하면 쉬리의 경우, 유속과 수심이 0.3~0.8 m/s와 0.2~0.5 m, 피라미는 0.3~0.8 m/s와 0.3~1.0 m, 감돌고기는 0.1~0.3 m/s와 0.5~0.8 m로 보고하였다(건, 1999). 본 조사와 이전 조사와는 다소 차이를 나타내고 있으나, 서식 범위 내에서는 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 이전 보고에서는 금강수계를 전체 평균으로 보았기 때문에 본 지점과는 차이를 나타낸 것으로 판단된다. 또한 이전 보고에서는 생활사로 구분하였으나, 그 범위 값이 모두 유사하여 본 조사에서 계절별로 구분한 것과는 차이를 보일 수도 있다.

이러한 구분은 어류의 생활사(life cycles)로 볼 때,

연어과와 같은 어류는 일생에 1회의 산란을 하고 폐사하기 때문에 치어기(juveniles), 미성어기(immature), 성어기(adult), 산란기(spawning)로 구분을 할 수 있으나, 우리나라 대부분 어류는 다회(몇 개월에 걸쳐 산란을 함)산란을 하고 폐사하는 것이 아니라 부화한 어린 치어와 함께 복합적으로 서식 및 성장을 한다. 즉 모든 생활사의 어류들이 함께 공존을 한다는 것이다. 따라서 이전의 다른 연구자들이 생활사별로 구분하는 것은 우리나라 어종에서는 제고해야 할 것으로 판단된다.




### 3.3.2 물리적 서식처 모의 시스템(PHABSIM)에 의한 생태유량 산정

물리적 서식처 모의 시스템(PHABSIM)에 의해 산정한 쉬리, 피라미 및 감돌고기에 대한 유량-가용서식처 면적(WUA) 관계를 Fig. 5에 나타내었다. 계절에 따라서 약간씩 다른 유량에서 최적 가용서식처면적(WUA)를 얻었다. Table 8에 각 어종별로 계절에 따른 최적

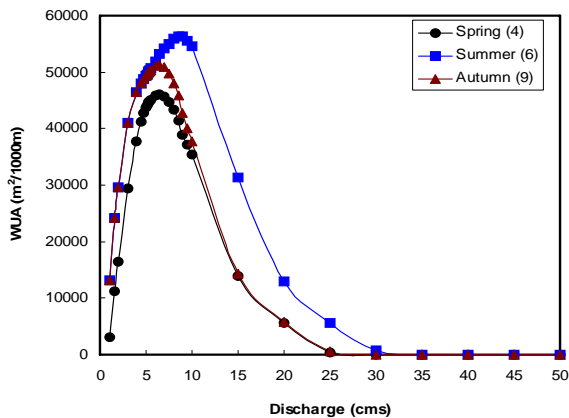
유량 및 가용서식처면적(WUA)을 요약하였다. 쉬리와 감돌고기는 여름(6월)에 각각, 8.5 cms 및 9.5 cms 에서 최적 가용서식처면적(WUA)을 나타낸 반면(Figs. 4a, b), 피라미의 경우에는 가을(9월)에 유량이 9.0 cms 일 때 최적 가용서식처면적(WUA)을 나타냈다(Fig. 5c). 6

월 이후에 많은 유량이 필요한 것으로 나타나는데, 이는 우리나라의 계절 특성상 4월의 경우 갈수시기로 유량이 감소하였다가 우기인 여름철에 유량이 증가하게 되고, 대부분 어류가 이에 맞추어 5~6월에 산란행동을 하는 것과 일치한다고 판단된다.

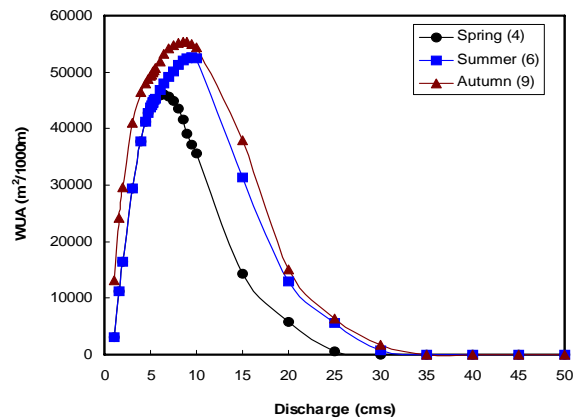
Table 7. Season Variations of HSI of Velocity, Depth and Channel Index

Species	Pictures	Season (Month)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Channel index*
<i>C. splendidus</i>		Spring (4)	0.1~0.4	0.3~0.5	3.0~4.0
		Summer (6)	0.2~0.6	0.2~0.6	3.0~4.0
		Autumn (9)	0.2~0.5	0.2~0.5	3.0~4.0
<i>Z. platypus</i>		Spring (4)	0.1~0.5	0.3~0.5	3.0~4.0
		Summer (6)	0.1~0.6	0.3~0.6	1.0~4.0
		Autumn (9)	0.2~0.4	0.2~0.7	3.0~4.0
<i>P. nigra</i>		Spring (4)	0.2~0.5	0.2~0.4	2.0~3.0
		Summer (6)	0.2~0.7	0.3~0.6	1.0~4.0
		Autumn (9)	0.1~0.4	0.4~0.6	2.0~3.0

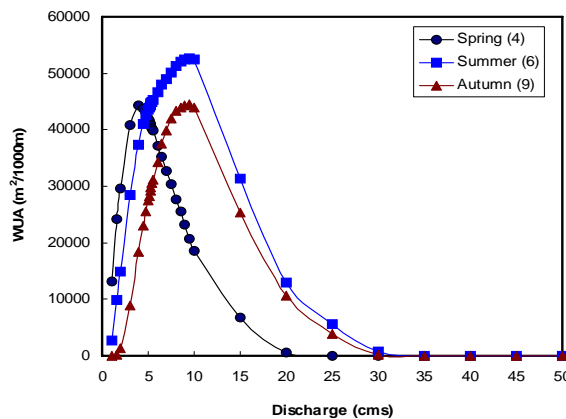
\*1.0(silt) : >0.1 mm, 2.0(sand) : 0.1~1.0 mm, 3.0(fine gravel) : 1.0~50.0 mm, 4.0(coarse gravel) : 50.0~100.0 mm, 5.0(cobbles) : 100.0~300.0 mm, 6.0(boulders) : <300.0 mm.



(a) *C. splendidus*



(b) *Z. platypus*



(c) *P. nigra*

Fig. 4. Variations of WUA to Discharge



Table 8. Seasonal Variations of Flowrates for Optimal WUA Values

Species	Discharge (cms)			WUA (m <sup>2</sup> /1000m)		
	Spring (4)	Summer (6)	Autumn (9)	Spring (4)	Summer (6)	Autumn (9)
<i>C. splendidus</i>	6.5	8.5	6.5	45989.9	56353.7	51210.8
<i>Z. platypus</i>	6.5	9.5	9.0	45989.9	52714.1	55368.9
<i>P. nigra</i>	4.0	9.5	9.5	44298.0	52681.7	44421.5

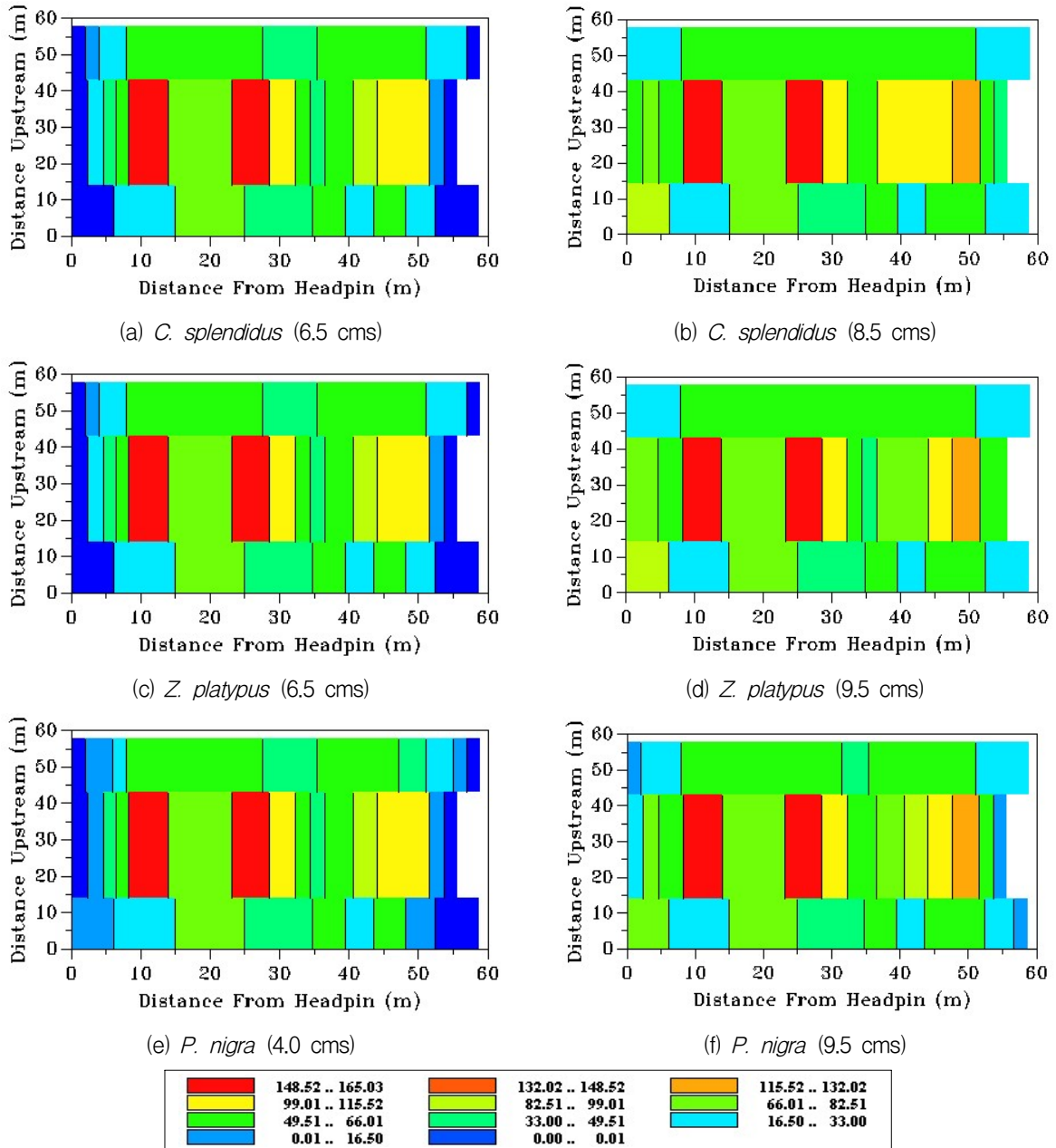


Fig. 5. Changes of WUA(m<sup>2</sup>/1000m) for Each Species as Flowrate Increases

생태유량을 산정한 3종의 어류는 산란기가 비슷하여 5월부터 6월까지 산란을 한다. 김과 박(2002)에 의하면 산란기가 쉬리는 4~5월(본 조사시 4~6월), 피라미는 5~7월(5~6월), 감돌고기는 5월(5~6월)로 보고하고 있

다. 이것은 우리나라 전체의 평균 시기이며, 본 조사에서도 이와 비슷한 시기를 나타내고 있으나, 산란시기가 약간씩 차이를 보여주었다. 이것은 지역적인 차이와 수온 등에 관련하여 연관성이 있을 것으로 판단된다. 만

약 서식환경 조건이 악화되었을 때 어류는 산란시기를 늦추거나 산란을 포기하는 경우도 있다. 이러한 요인은 유량과 함께, 수온 및 다른 환경요인 등 여러 가지 조건이 있을 수 있다. 추가적으로, 앞서 언급한 것처럼 하천에 서식하는 어류는 1회 번식행동으로 산란을 마치는 것이 아니라 수회에 걸쳐 산란을 하므로 산란기에는 적정 유량 및 서식처 조건이 유지될 수 있도록 하여야 할 것이다.

Fig. 5에서 보는 것과 같이 쉬리와 피라미의 경우 4월에 6.5 cms로부터 6월 각각 8.5 cms와 9.5 cms로 유량이 증가되었을 때, 각 셀(cell)에 대한 가용서식처면적(WUA)의 증가경향을 볼 수 있다(Figs. 5a, b, c, d). 각 단면의 중앙부는 가용서식처면적(WUA)의 증가는 유량 증가에 따른 큰 변화가 없으나, 단면의 좌·우안에서는 가용서식처면적(WUA)이 증가되는 것으로 나타났다. 6월은 이 3종의 어류가 산란 및 부화되는 시기로 치어와 성어가 함께 서식한다. 이러한 시기에 하천의 주변부에 서식처 범위가 넓어진다는 것은 어린 치어가 살아가기에 좋은 조건을 제공하며, 다른 치어보다 큰 포식성 어류로부터 도피에도 도움이 될 것이다. 또한 이시기에 좌·우안의 개방형 및 폐쇄형 하도습지에 1년생 및 다년생 초목류가 자라나 친어가 산란하기 좋은 장소를 제공하며, 부화된 어린 치어가 살아가기에 좋은 조건을 제공할 것으로 사료된다. 실제로 9월 조사 시기에 쉬리와 피라미에서 5 cm 이하의 어류가 채집되어 좌·우안의 주변 및 하도습지에 많이 서식하는 것으로 나타났다.

본 지점에서 조사된 자료를 기초로 하여 물리적 서식처 모의 시스템(PHABSIM)으로 생태유량을 산정한 결과 계절에 따라 최적 유량의 차이를 보여주었으며, 이에 따라서 가용서식처면적(WUA)도 변화를 보여주었다. 이 지점에서 3종의 어류는 4~6월까지 산란, 부화 및 자어시기로 서식습성 및 형태가 유사하여, 군집으로 생태유량 산정이 가능할 것으로 판단된다. 따라서 본 지점에서 물리적 서식처 모의 시스템(PHABSIM)으로 산정 결과 약 9.0 cms가 적절할 것으로 사료된다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 금강수계중 무주읍 오산리 지점에서 어류생태 모니터링을 통한 어류종별 서식환경 특성을 파악하고 DB화하여, 건강성 평가와 생태계에 필요한 유량을 산정하였다. 하천 생태 모니터링을 통하여 하도 및 하상특성, 어류상, 생물다양도, 건강성 평가, 서식처 적합도 지수(HSI) 및 생물보전지수(IBI)를 분석하였으

며, 물리적 서식처 모의시스템(PHABSIM)으로 쉬리, 피라미 및 감돌고기에 대한 최적 유량을 산정하였다. 본 연구에서 얻은 주요 결론은 다음과 같다.

- 1) 본 지점에서 채집된 어류는 5과 20종 255마리였으며, 우점종은 쉬리(22.4%), 아우점종은 피라미(22.0%)로 나타났다. 생태적 건강성 평가점수에서 34~42(평균 38점)점으로 양호상태이다.
- 2) 서식처적합도 지수(HSI)는 유속에서 6월(여름)에 0.2~0.6 m/sec (쉬리), 0.1~0.6 m/sec(피라미), 0.2~0.7 m/sec (감돌고기)로 가장 광범위한 범위를 나타냈다. 하상은 쉬리가 잔자갈(3.0)~굵은자갈(4.0)로 나타났으며, 피라미와 감돌고기는 모래~굵은자갈로 나타났다.
- 3) 물리적 서식처 모의 시스템(PHABSIM)으로 생태유량을 산정한 결과 계절에 따라 최적 유량의 차이를 보여주었으며, 이에 따라서 가용서식처면적(WUA)도 변화하였다. 이 지점에서 3종의 어류는 4~6월까지 산란, 부화 및 자어시기로 서식습성 및 형태가 유사하여, 군집으로 생태유량 산정이 가능할 것으로 판단된다. 따라서 본 지점에서 물리적 서식처 모의 시스템(PHABSIM)으로 산정 결과 약 9.0 cms가 적절할 것으로 사료되었다.
- 4) 수문 및 생물학적 상호연계를 통하여 어류종별 서식환경 특성을 DB 및 생태유량 산정 결과는 향후 진행될 다양한 하천에서 생태유량 산정에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.
- 5) 본 연구에서 다른 보고와 다르게 계절별로 서식처 적합도 지수(HSI)와 물리적 서식처 모의 시스템(PHABSIM)에 적용하였는데, 향후 연구에서도 우리나라 어류의 생태적 습성에 맞는 연구가 진행될 것으로 예상된다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신연구개발사업의 일환으로 진행되는 ‘자연과 함께하는 하천복원기술개발(Ecoriver 21)’ 중 ‘어류생태 모니터링 및 조절하천 유지유량 확보기술(3-1과제)’ 지원으로 이루어진 연구 성과입니다. PHABSIM 모델을 이용한 분석에 도움을 주신 중부대학교의 이주헌 교수님께 감사드립니다.

#### 참고 문헌

건설교통부 대전지방국토관리청 (1999). 금강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서. p.

- 613.
- 국토교통성 (2001). 정상유량 검토의 지침(안). 하천국 하천환경과(in Japanese).
- 김규호, 조원철, 전병호 (2000). “수량, 수질 모의치를 이용한 어류서식 조건 유지에 필요한 적적유량 산정.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제33권, 제1호, pp. 3-14.
- 김규호 (1999). “하천 어류 서식 환경의 평가와 최적유량 산정.” 연세대학교 대학원 박사학위논문, p. 180.
- 김익수, 박종영 (2002). “한국의 민물고기.” 교학사. p. 467
- 성영두, 박봉진, 주기재, 정관수 (2005). “하천의 어류 서식환경을 고려한 생태학적 추천유량 산정.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제38권, 제7호, pp. 545-554.
- 안광국, 염동혁, 이성규 (2001). “생물보전지수(Index of Biological Integrity)의 신속한 생물평가 기법을 이용한 갑천 수계의 평가.” **한국환경생물학회논문집**, 한국환경생물학회, 제19권, 제4호, pp. 261-269.
- 오국열, 정상만, 이주현, 최계운, 김도희 (2008). “1차원 및 2차원 물리서식처 모의를 이용한 어류서식조건 유지에 필요한 최적 유량 산정 : 피라미를 대상으로.” **한국방재학회논문집**, 한국방재학회, 제8권, 제1호, pp. 117-123.
- 우효섭 (2004). “하천수리학.” 청문각. pp. 362-363.
- 우효섭, 이진원, 김규호 (1998). “물고기 서식처를 고려한 하천유지유량 결정방법의 개발: 금강 본류에 적용.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제18권, 제4호, pp. 339-350.
- Arthington, A.H., Bunn, S.E., Poff, N.L., and Naiman, R.J. (2006). “The challenges of providing environmental flow rules to sustain river ecosystem.” *Ecological Applications* 16: pp. 1311-1318.
- Gore, J.A., Nestler, J.M., and Layzer, J.B. (1989). “Instream flow predictions and management options for biota affected by peaking-power hydroelectric operations.” *Regulated Rivers* 3: pp. 35-48.
- Karr, J.R. (1981). *Assessment of biotic integrity using fish communities*. Fisheries, 6, pp. 21-27.
- Margalef, R. (1968). *Perspectives in Ecological Theory*. Chicago. pp. 1-111.
- McNaughton, S.J. (1967). “Relationship among functional properties of california grassland.” *Nature*, 216: pp. 168-169.
- Petts, G.E. and Maddock. (1998). “Flow allocation for in river needs.” *The river handbook hydrological and ecological principles*, 2: pp. 289-307.
- Pielou, E. C. (1975). *Ecological Diversity*. Wiley, New York. pp. 1-165.
- Stalnaker, C.B., Lamb, B.L., Henriksen, J., Bovee, K., and Bartholow, J. (1995). “The instream flow incremental methodology a primer for IFIM.” Biological report 29. U.S. Department of the Interior, p. 45.
- U.S. Geological Survey-Midcontinent Ecological Science Center. (2001). “PHABSIM for Windows Software (Version 1.20).” User’s manual and exercises, Open file report 01-340. U.S. Department of the Interior, p. 288.

(논문번호:08-112/접수:2008.11.28/심사완료:2009.05.25)