

## 용담댐 하류의 어류서식처를 고려한 생태학적 유지유량 산정

장 창 래 · 신 재 기<sup>1,\*</sup>

(충주대학교 토목공학과, <sup>1</sup>한국수자원공사 K-water연구원)

Estimation of Ecological Instream Flow Considering the River Characteristics and Fish Habitat in the Downstream of Yongdam Reservoir. Jang, Chang-Lae and Jae-Ki Shin<sup>1,\*</sup> (Department of Civil Engineering, National Chungju University; <sup>1</sup>Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation)

Ecological instream flow was quantitatively calculated based on the river characteristics and fish habitat in the downstream of Yongdam Reservoir. The river bed and width did not change from 1988 before the dam construction to 2004 after the dam construction, but the bed sediment size was attenuated a little in 2004. According to result that investigate fishes, 4 family 11 species including *Acheilognathus koreansis* were collected. Among them, *Zacco koreanus* of cyprinidae was dominant, and *Coreoleuciscus splendidus* did sub-dominant. The habitat suitability indexes were estimated for two fish species *Zacco koreanus* and *Coreoleuciscus splendidus* using Physical Habitat Simulation System (PHABSIM) considering the river characteristics. In Gamdong and Daeti sites, the optimal ecological flow for *Z. koreanus* and *C. splendidus* were  $13.90 \sim 12.60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  and  $15.50 \sim 11.60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , respectively. In contrast, the optimal flow for the two species in Bunam site were  $7.00 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . The ecological instream flow in the downstream of Yongdam Reservoir was between normal and high flow rate.

**Key words :** Ecological instream flow, river characteristics, Habitat suitability criteria, PHABSIM

### 서 론

댐은 하천의 연속성 교란, 유사이송 및 흐름에 대해 조절 간섭하며, 수생생물의 서식 및 이동에 영향을 미치게 된다. 수생생물 중에서 어류는 고등동물로서, 먹이사슬의 상위에 위치하고, 장단기간 동안 광범위한 서식 조건의 변동 양상을 파악할 수 있는 중요한 지표종(indicator species)이며, 하천의 유량과 수질에 밀접한 관계가 있다. 하천에서 자연적·인위적 교란에 의해 유황 및 수질이 변화되면, 수생태계의 서식환경이 변화되어 하천의 생물

상이 변화하게 된다(Kondolf and Wilcock, 1996). 최근에 댐하류 하천계획 및 관리에 있어서 하천생태계의 다양성 회복, 보존 및 생태 서식환경을 유지하기 위하여 수량을 고려한 유지유량에 대한 사회적 요구가 증가하고 있다.

하천에서 유지유량은 하천 고유의 수리·수문학적 하도가 유지되어 동식물의 생태환경보호, 경관보전 및 수질보전 등이 가능한 상태를 유지하기 위하여 필요한 최소한의 유량이다. 하천유지유량은 하천고유의 수리·수문학적 하도 유지가 가능할 수 있는 갈수량을 기준으로 생태계, 경관, 수질, 수리 시설물 및 지하수 수위 뿐만 아니라, 각 하천 고유의 자연적·사회적 여건과 유량 공급 가능

\* Corresponding author: Tel: 042) 870-7450, Fax: 042) 870-7499, E-mail: jaekishin@kwater.kr

성 등을 고려하여 산정하게 된다(일본국토교통성, 2001). 하천의 유량변화는 어류 뿐만 아니라 모든 하천생물에 지대한 영향을 미친다. 특히, 하천의 고등생물에 해당하는 어류의 서식처, 산란장소 및 기타 환경조건 등은 유량(또는 수위) 변동에 민감하게 반응함으로써 하천생태계를 보전하기 위해서는 적절한 수리 및 수질 조건을 유지할 수 있는 흐름 영역이 확보되어야 한다. 하천에서 생태계를 고려한 필요유량은 최소한 (1) 어류 분포 및 서식 환경 조사, (2) 대표 어종과 대러 어종 선정, (3) 서식처 수리 및 수질환경 조사, (4) 한계구간 설정 및 수리특성 조사, (5) 필요유량 산정 등의 과정에 따라 산정한다(USGS, 2001; 성 등, 2005).

필요유량은 가용할 수 있는 자료와 목적에 따라 수리학적 계산, 서식처 모의 또는 등류 공식을 이용한 간략화 방법을 적용하여 산정한다. 수리학적 방법은 어떤 하천구간에서 하나 또는 그 이상의 조사구간을 선정하여 현장자료를 수집하고, 유량과 운반, 수심 및 유속과 같은 다른 물리적 변수간 관계를 개발하는 방법이다. 자료는 하천유량 감소에 따라 한계상태가 발생하는 여울과 같은 곳에서 보편적으로 측정하게 된다.

서식처 모의방법은 유량 규모에 따른 물리적 서식처의 변화를 고려할 뿐만 아니라 하천유량 범위내에서 가용 서식처의 규모를 결정하기 위해 특정 어종이 선호하는 서식처 선호도와 하천유량을 결합하는 방법이다. 주로 점증유량 방법론(IFIM: Instream Flow Incremental Methodology)이 이용되고 있으며, 어류 서식처를 유량에 따라 평가하기 위한 물리적 서식처 모의 시스템(PHABSIM: Physical HABitat SIMulation system)을 이용할 수 있다(Stalnaker *et al.*, 1995). 이 방법을 적용하려면 다양한 유황 변화에 따른 어류상 및 서식환경 조사를 통한 서식처 적합도 기준 개발과 컴퓨터의 모의 과정이 필요하다. 필요유량은 어류 성장단계별로 구분하여 월별 또는 계절별 변화를 고려하여 결정하되, 이를 뒷받침할 만한 조사자료가 충분하지 못할 경우에는 어류의 성어기를 중심으로 분석하여 결정하기도 한다(김, 1999).

국내에서 하천의 생태환경을 고려한 유지유량의 선행 연구는 금강 본류에서 어류의 서식환경을 고려한 하천 유지유량 산정(우 등, 1998)이 시도되었다. 자갈하천인 달천에서 유량과 수질을 고려한 어류 서식처에 필요한 하천 유지유량이 산정되었으며(김 등, 2000), 낙동강 유역의 영강 등 5개 하천에서 어류의 산란기와 성어기에 어류의 서식과 수리학적 특성을 고려하여 유지유량이 산정되었다(성 등, 2005). 허와 김(2009)은 용담댐 하류인 앞섬 부근의 단일구간에서 하천의 건강성 평가 및 어류

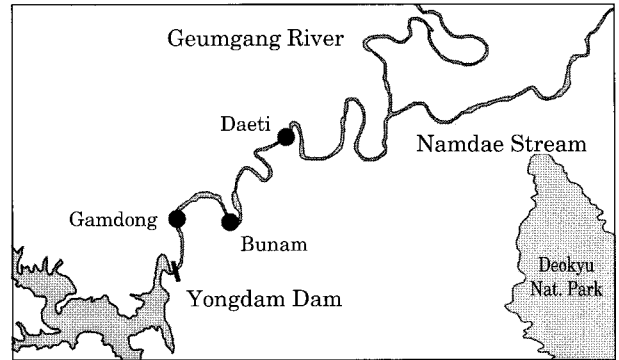


Fig. 1. Map showing investigation locality and sampling stations at lower part of Yongdam Reservoir.

의 서식환경을 고려한 생태유량을 산정하였고, 최와 최(2009)는 도시하천인 원주천을 대상으로 하상구조를 고려하여 유량과 수질변화에 대한 어류의 서식환경을 분석하였다. 반면에 댐 직하류 하천에서 하천정비사업의 계획 단계에서 향후 유지관리를 위하여 생물서식처의 조건에 따른 하천의 유지유량을 정량적으로 산정한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

본 연구는 용담댐 직하류의 용담댐~무주남대천 합류점 구간(23 km)에서 하천정비사업이 추진되는 구간을 대상으로 하천계획 단계에서 하도특성과 어류의 서식처를 고려하여 생태학적 유지유량을 산정하였고, 향후 이와 관련한 다른 지역에 유용한 기초자료로 제공하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지 개황

본 연구의 대상은 댐 직하류의 하천정비사업이 시행되는 용담댐 하류지역이다. 용담댐은 전북 진안군 월계리에 위치하고 있으며, 1990년 12월에 착공하여 2005년 12월에 완공하였다. 콘크리트 표면 차수벽형 석피댐으로 댐의 높이는 70.0 m, 길이는 498 m이며, 총저수용량은  $815 \times 10^6 \text{ m}^3$ , 유효저수용량은  $672 \times 10^6 \text{ m}^3$ , 홍수조절용량은  $137 \times 10^6 \text{ m}^3$ 이다. 용담 다목적댐은 전라북도 전주시를 비롯하여 인근 서해안 지역에 생공용수를 공급하고, 홍수시 금강 중하류 지역의 홍수피해를 경감시키게 된다.

조사지점은 용담댐으로부터 하류로 4 km 지점에 위치한 감동교(감동지구), 7 km 지점인 대소잠수교(부남지구) 및 13 km 지점에 위치한 대티교(대티지구)의 총 3개 구간이었다(Fig. 1). 감동지구는 상류 웅덩이와 하류 웅덩이 사이에 형성된 여울구간으로서, 유속이 비교적 빠르고 하

폭이 넓게 형성되어 있다. 하상경사가 상대적으로 급하며, 하상재료는 자갈과 호박돌이 6:4 정도로 구성되어 있다. 큰 하상재료에 의해 자연스럽게 유수의 폭기가 이루어지고 있다. 또한 하중도가 발달해 있으며, 식생으로 덮여 있다. 부남지구는 하천의 만곡부 웅덩이 사이에 형성된 여울구간으로서, 유속이 빠르고, 하폭은 좁아지고 있다. 하상경사가 급한 편이며, 하상재료는 자갈로 형성되어 있다. 대티지구는 감동지구와 마찬가지로 유속이 빠르고, 하폭은 비교적 넓게 형성되어 있다. 하상은 약간 급하며, 하상재료는 자갈로 형성되어 있다. 여름철에는 래프팅 등 친수활동이 성행하고 있으며, 수변은 사람들이 피서를 즐기는 곳이다. 하천의 우안은 초목 및 관목류의 식생이 발달하고 있으며, 상류 좌안은 버드나무가 성장하고 있다.

## 2. 하천의 어류상 조사

생태학적 유지유량 산정을 위하여 사전조사 및 현장조사를 수행하였다. 사전조사는 대상지점의 하도특성, 여울과 웅덩이의 분포 및 구조, 주변 경관 등을 고려하여 수리적 특성을 선행하였다. 어류의 서식환경을 파악하기 위하여 수리특성을 조사하고 분석하였다. 유량 및 유속을 측정하기 위하여 광파기를 이용하여 하천측량을 실시하였다. 하천의 종방향으로 50 m 간격으로 4지점을 선정하였다. 각 지점에 대하여 횡단면으로 줄자를 이용하여 하폭을 측정하였으며, 1 m 간격으로 유속과 수심을 측정하고, 하상을 구성하고 있는 재료의 특성을 조사하였다. 이를 기초로 하여 해당 단면에 대한 유량을 측정하였다.

어류조사는 연구대상 구간(감동지구, 부남지구, 대티지구)에서 2008년 8월에 2차례에 걸쳐 유량측정과 동시에 해당 구간 및 상하류에서 수행되었다. 어류 채집은 어류의 성장기에 총 2회에 걸쳐 조사되었다. 어류의 채집은 여울과 웅덩이, 하천의 좌안과 우안 등에 걸쳐서 조사하였다. 하도특성에 따라 어류의 채집은 투망(망목 5×5 mm)과 족대(망목 3×3 mm)를 각각 사용하였다. 투망에 의한 어류 채집은 정량적으로 조사를 수행하기 위하여 15~20회씩 동일하게 반복하였으며, 족대는 하천의 좌안과 우안의 수초가 있는 곳에서 수행하였다. 채집은 하류부에서 진행하여 상류로 이동하면서 수행되었다.

## 3. 생태유량 산정

대상 어종에 대한 물리적 서식처 모의(PHABSIM)를 위하여, 서식처 적합도 기준(habitat suitability criteria)이 필요하다. 어류의 서식처 적합도 기준은 특정 조사지

점이나 조사구간에서 수리 및 하도특성별로 출현한 어종의 개체수를 기준으로 작성된다. 조사기간 동안 출현한 최대 개체수를 1.0으로 설정하고, 나머지는 최대 개체수에 대한 상대비율로 설정한다(성 등, 2005; 허와 김, 2009). 따라서 본 연구에서는 유속, 유량, 수심 등 수리특성과 하상재료를 조사하면서, 어류 조사를 동시에 수행하여, 서식처적합도 지수(HSI)를 산정하였다. 서식처적합도 기준을 작성하는 방법으로는 이분법, 단일변량 곡선법 및 다변량 응답 평면법으로 적용된다(USGS, 2001). 본 연구에서는 수심과 유속에 대해서는 단일변량 곡선법을 적용하여 서식처적합도 지수를 산정하였다. 하상재료는 현지 조사 결과를 토대로 김(1999)의 방법에 의하여 이분법을 적용하였다.

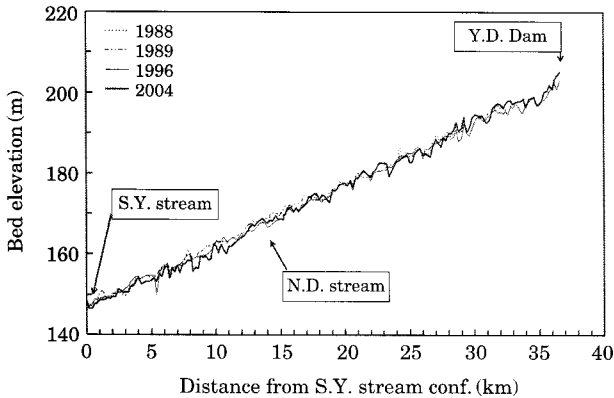
서식처적합도 산정 절차로는 첫째, 사전현장 답사를 통하여, 여울과 웅덩이 및 유수역이 적절히 배열된 장소를 선정한다. 둘째, 유량을 측정하기 위하여 광파기를 이용하여 하천의 횡단면과 하폭 등을 측정하고, 수심과 유속 등을 조사한다. 셋째, 전체면적에 대한 조사지점의 수심, 유속 및 하상재료 범위가 차지하는 면적을 백분율로 산정한다. 넷째, 해당지점에서 동정, 크기 및 마리수를 조사한다. 다섯째, 각 단면적별 관측기대치를 산정하며, 서식처적합도 지수를 산정한다(허와 김, 2009). 서식처적합도 기준 작성은 전문가의 판단, 현장 조사 결과 분석, 혹은 조사 결과에 대해 서식 환경의 이용도를 고려하여 편의성(bias)을 제거하는 방법이 있으나, 우리나라에서는 조사결과를 참고하여 전문가의 판단에 의해 결정하게 된다(김, 1999). 본 연구는 이러한 과정과 절차를 방법으로 각 지수값을 산정하였으며, 물리적 서식처 모의(PHABSIM)를 통하여 유량을 산정하였다.

## 4. 서식처 적합도(HSC) 지수 산정

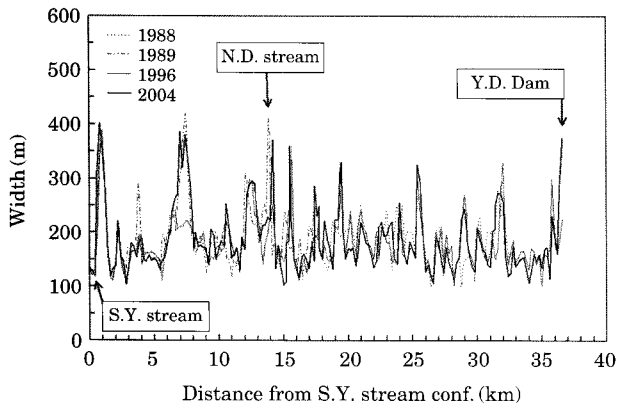
대상 어종에 대한 서식처 모의를 위하여, 성장단계별 서식처 적합도 기준(habitat suitability criteria)이 필요하다. 서식처 적합도 기준 작성은 전문가의 판단, 현장 조사 결과 분석, 혹은 조사 결과에 대해 서식 환경의 이용도를 고려하여 편의성(bias)을 제거하는 방법이 있으나, 우리나라에서는 조사결과를 참고하여 전문가의 판단에 의해 결정하게 된다(김, 1999).

본 연구에서는 3개의 대상 여울 구간에 대하여 관측한 수리조건을 적용하여 서식처 가용 면적(WUA)-유량관계를 산정하였다. 이 서식처 모의는 주어진 어종과 성장단계별 또는 활동을 위해 하도 구간에서 유량에 따른 물리적 서식처의 공간 면적을 양적으로 계산한다(김, 1999).

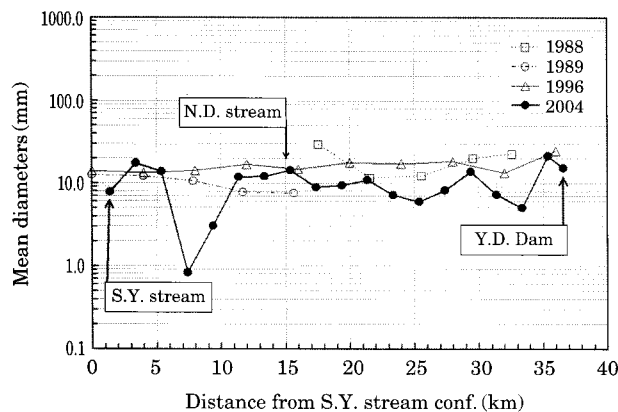
(a) Bed elevation changes



(b) Channel width changes



(c) Bed material sizes



**Fig. 2.** Morphological characteristics in the downstream of Youngdam Reservoir during 1988 to 2004. (Y.D. Dam=Youngdam Dam, N.D. Stream=Namdae Stream, S.Y. Stream=Sinyic Stream).

가중된 가용 면적을 최대로 갖는 유량을 대상 어종의 성장기 최적 유량으로 산정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 하도변화 특성

용담댐 건설 전후의 하도특성은 신의천 합류점부터 용담댐 하류까지 약 37 km 구간에 대하여 분석하였다. Fig. 2(a)는 1988년부터 2004년까지 최심하상고의 변화를 보여주고 있다. 최심하상고는 주기적으로 울퉁불퉁하게 형성되어 있으며, 이것은 만곡이 심한 사형하천에서 형성된다. 대체적으로 1988년부터 2007년까지는 최심하상고의 변동이 거의 없이 안정적이었다. 그러나 향후, 시간이 지남에 따라 용담댐의 영향을 지속적으로 받아서, 하상 저하 및 식생의 번무 등 다른 댐 하류 하천에서 발생하는 물리적 현상이 지속적으로 발생할 것으로 판단된다. 하폭의 변화도 1988년부터 2004년까지 크게 나타나지 않고 있으며, 대체적으로 안정적인 현상을 보여주고 있다(Fig. 2(b)). 용담댐 하류는 하상토의 평균 입경이 2 mm 보다 큰 자갈하천으로서, 1988년부터 1996년까지 하상토의 입경에 큰 변화를 보이지 않고 있으나, 2004년에는 약간 가늘어지고 있다(Fig. 2(c)).

항공사진을 이용하여 용담댐에서 무주남대천 합류부까지 1985년부터 2003년까지 하천의 지형변동을 정성적으로 분석하였다(Fig. 3). 대체적으로 댐 건설 전인 1985년과 1992년에는 하천의 만곡부에 고정사주(point bar)가 잘 발달되어 있으며, 사주의 면적도 넓은 것을 보여주고 있다. 용담댐 건설 직후인 2003년에는 고정사주의 면적이 감소되며, 저수로 폭이 증가하였다. 특히, 용담댐 직하류인 감동지구와 부남지구에서는 댐 건설 직후인 2003년에는 식생의 면적이 증가하고, 하천의 역동성을 상징하는 사주의 면적이 감소하여 저수로에서 흐름이 매우 단조롭다. 이것은 홍수기에 댐에 의해 침투 홍수량이 감소되고, 갈수기에는 댐의 조절방류에 의해 흐름이 일정하게 유지되며, 댐에 의한 유사의 포착으로 인하여 하류에 유사 포함되지 않은 빈수(hungry water)를 방류하여 하상의 장갑화를 유도하기 때문으로 판단된다.

### 2. 어류상 및 대상어종 선정

어류 조사 결과, 채집된 어종은 Table 1에서와 같이 칼납자루 등 총 4과 11종이 출현하였다. 이 중에서 잉어과의 참갈겨니 70.50%, 쉬리 9.03%, 꺾지 4.01%, 줄납자루 3.01% 칼납자루 2.63%, 돌고기 2.34%, 감돌고기 1.34%, 피라미 1.00%, 동사리 1.00% 및 참종개 0.33%이었다(Table 1). Table 1에서 나타난 것처럼, 잉어과의 참갈

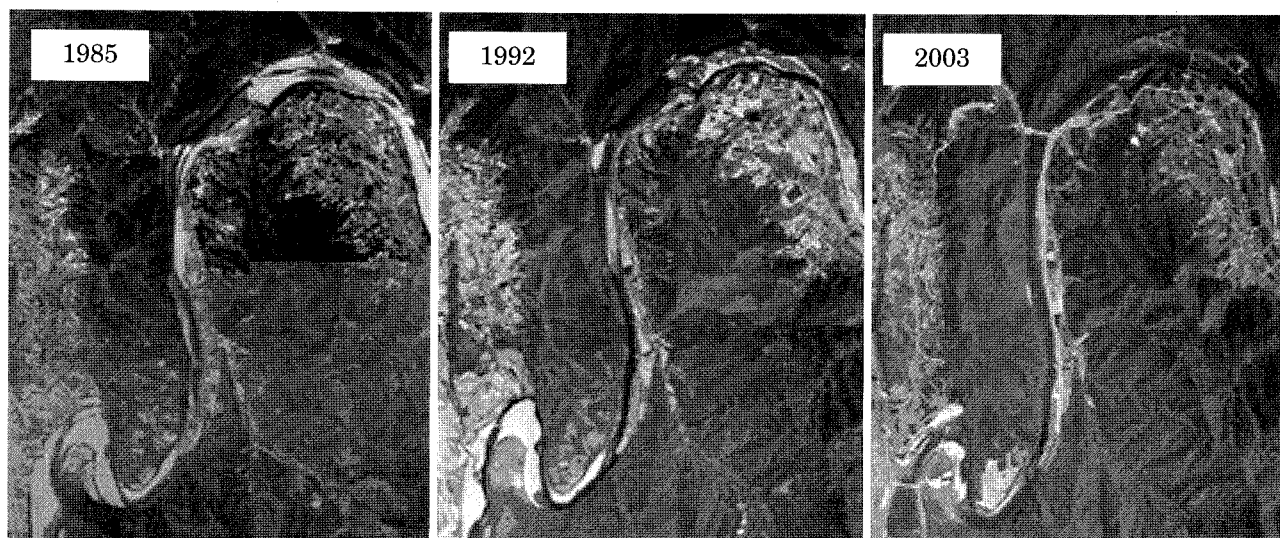


Fig. 3. Comparison of aerial photographs changes in the downstream of Yongdam Reservoir during 1985 to 2003.

Table 1. Number and relative abundance of fish species sampled.

Species	Sampling point			Total number	Relative abundance (%)	Remarks
	Gamdong	Bunam	Daeti			
Cyprinidae						
<i>Acheilognathus koreensis</i>	3	3	2	8	2.68	K
<i>Acheilognathus yamatsuate</i>			9	9	3.01	K
<i>Pungtungia herzi</i>	5	2		7	2.34	
<i>Pseudopungtungia nigra</i>	1		3	4	1.34	K, E
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	11	13	3	27	9.03	K
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>	3	4	7	14	4.68	K
<i>Zacco koreanus</i>	60	79	72	211	70.57	K
<i>Zacco platypus</i>	1	1	1	3	1.00	
Cobitidae						
<i>Iksookimia koreensis</i>			1	1	0.33	K
Centropomidae						
<i>Coreoperca herzi</i>	1	1	10	12	4.01	K
Odontobutidae						
<i>Odontobutis platycephala</i>	3			3	1.00	K
Number of family	3	2	3	3		
Number of species	9	7	9	11		
Number of individual	88	103	108	299		

E: Endangered wild animals, K: Korean traditional species

Table 2. Hydraulic characteristics at each sampling point.

Sampling point	Cross sectional area (m <sup>2</sup> )		Mean velocity (m s <sup>-1</sup> )		Discharge (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )		Remarks
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	
Gamdong	34.09	32.24	0.35	0.37	11.69	12.45	
Bunam	16.82	14.99	0.71	0.62	11.85	9.18	
Daeti	31.05	30.51	0.41	0.39	12.41	11.58	
Mean	27.320	25.911	0.489	0.459	11.983	11.073	

겨니가 우점종으로 출현하였으며, 쉬리, 줄납자루가 아우점종에 해당하였다. 특히, 멸종위기종인 감돌고기가 감동지구와 대티지구에서 출현하였다.

어류의 서식처 모의를 위하여, 하천관리 관점 및 사회 환경적 중요도, 어류상과 서식 등에 대한 가용 정보의 정

도 등에 따라 대상 어종을 선정해야 한다(김, 1999). 이러한 대상어종은 생태학적으로 우점종을 의미하며, 한국수자원공사(1995)가 금강을 대상으로 하는 대표어종으로 갈겨니, 쉬리, 피라미, 돌고기, 모래무지, 줄납자루 등 7종을 선정하였다. 조사 대상구간인 용담댐 하류구간에서 어류를 조사한 결과, 한국 고유어종이고 우점하고 있는 참갈겨니와 아우점하고 있는 쉬리를 본 연구의 대상어종으로 선정하였다.

### 3. 서식처의 수리학적 특성

어종에 따라 여울과 웅덩이를 서식처로 하는 종이 다르다. 여울에서는 피라미, 쉬리 및 꺾지 등이 서식하며, 웅덩이는 모래주사, 돌고기, 참마자, 모래무지, 붕어 및 갈겨니 등이 주로 서식한다. 여울에 서식하는 유영성 어종의 체형은 유선형과 같은 방추형을 띠고 있으며, 대표적인 어종으로는 버들치, 피라미, 쉬리 및 납자루 등이다. 흐름이 완만하거나 여울과 웅덩이가 이어진 곳에서는 체고가 높고 체폭이 좁은 측편형 어종이 많이 서식하며, 대

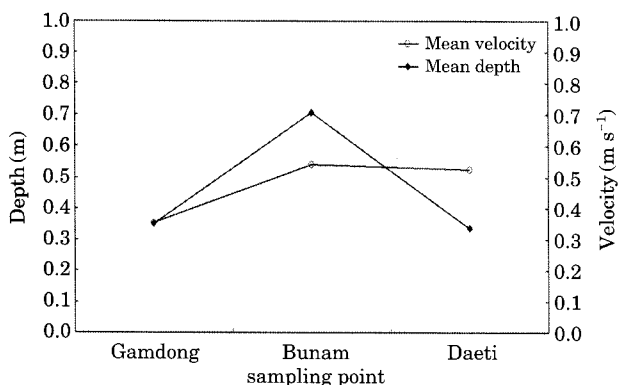
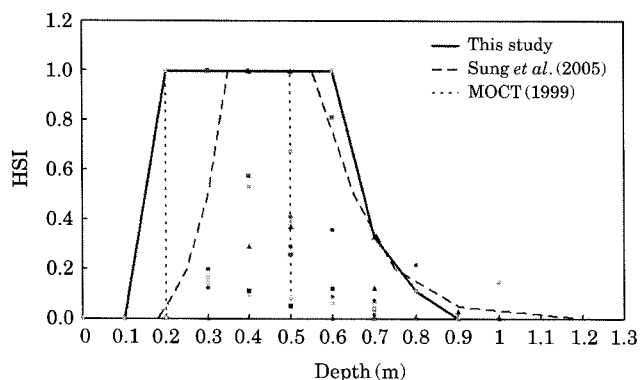
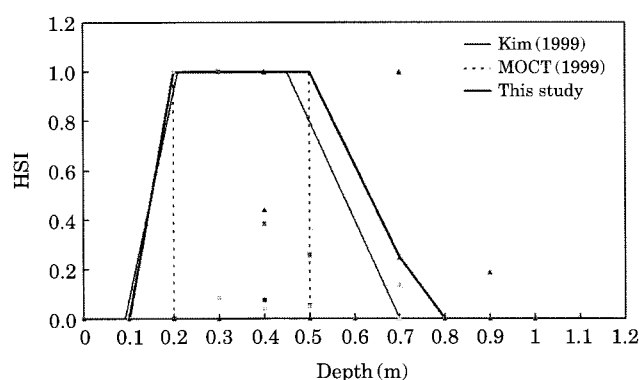


Fig. 4. Relationship between mean velocity and mean depth at each sampling location.

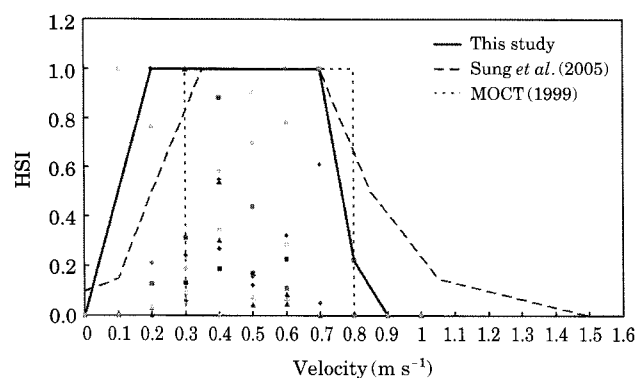
(a) *Zacco koreanus* (adult)



(c) *Coreoleuciscus variegatus wakiyae*



(b) *Zacco koreanus*



(d) *Coreoleuciscus variegatus wakiyae*

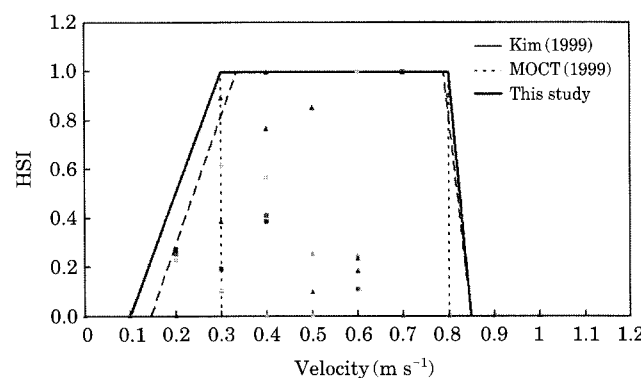


Fig. 5. Habitat suitability index (HSI) of water depth for dominant species.

표적인 어종은 목납자루, 줄납자루 및 납줄개 등이다. 또한 여울의 하상 가까운 곳에서는 체형이 리본형을 띤 어종이 서식하며, 주로 모래무지, 모래주사, 돌마자 및 동자개 등이 서식한다(Allan, 1995; 김, 1999).

어류의 서식환경을 파악하기 위하여, 수리특성을 조사하고 분석하였다. 유량 및 유속을 측정하기 위하여, 우선 광파기를 이용하여 하천측량을 실시하였다. 감동지구와 대티지구는 유속이 완만하고, 수심이 얕으나, 단면적이 넓으며 유사한 수리특성을 보여주고 있으나, 부남지구는 유속이 빠르고, 수심이 깊으나, 단면적이 좁다. 유량측정 결과, 1차에서 조사한 결과보다 2차에서 조사한 유량이 약  $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  정도 작게 측정되었으며, 유속은  $0.03 \text{ ms}^{-1}$  로 적게 측정되었다(Table 2). Fig. 4는 조사대상지점별 평균 유속과 평균수심을 보여주고 있다. 수리특성은 평균유속과 평균수심을 비교한 결과, 감동지구와 대티지구가 매우 비슷하나, 부남지구는 다른 지구에 비해 큰 것으로 나타나고 있다.

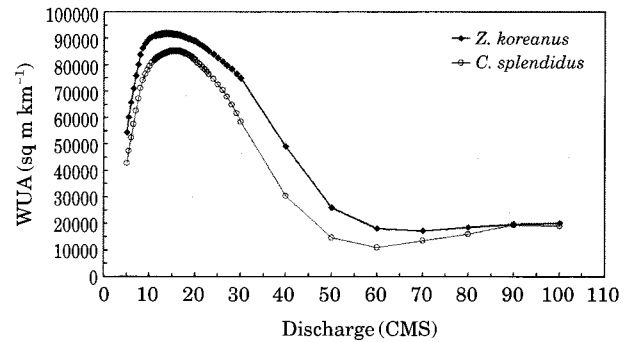
#### 4. 물리적 서식처 모의 (PHABSIM)에 의한 유량 산정

본 연구에서는 연구대상 구간인 용담댐 직하류에서 대상어종인 참갈겨니와 쉬리를 대상으로 성어기에 대하여 Washington Department of Fish and Wildlife (2008)에서 제시한 Instream flow study guidelines를 토대로 수심과 유속에 대하여 Fig. 5와 같이 서식처 적합도(HSC)를 산정하였다. 서식처 적합도(HSC)는 금회에 산정된 결과와 과거에 성 등(2005)이 낙동강을 대상으로 작성한 기준, 그리고 건설교통부(1999)에서 산정된 적합도 등을 비교하여 산정하였다. 우점종인 참갈겨니는 수심  $0.2 \sim 0.6 \text{ m}$ , 유속  $0.2 \sim 0.7 \text{ ms}^{-1}$ 에서 최적의 서식 조건을 갖는 것으로 산정되었으며, 아우점종인 쉬리는 수심  $0.2 \sim 0.5 \text{ m}$ , 유속  $0.3 \sim 0.8 \text{ ms}^{-1}$ 에서 최적의 서식 조건을 갖는 것으로 산정되었다.

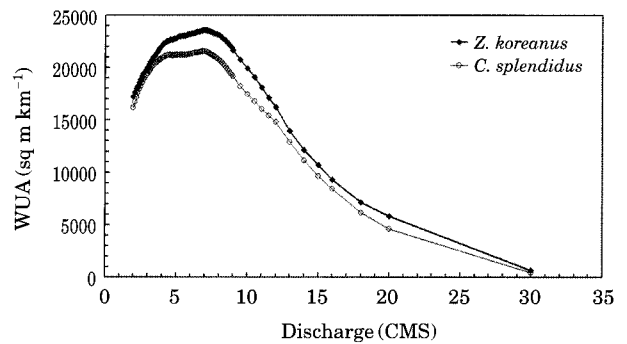
#### 5. 어류 서식처 모의 결과

어류의 서식처 모의를 위하여 PHABSIM모형을 적용하였다(Fig. 6). 감동지구에서 우점종인 참갈겨니의 최적 유량은  $13.90 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , 가중가용면적은  $91,925.20 \text{ m}^2 \text{ km}^{-1}$  이고 안정된 단일 첨두 곡선 형태를 띠고 있다. 아우점종인 쉬리의 최적유량은  $15.50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , 가중가용면적은  $85,303.43 \text{ m}^2 \text{ km}^{-1}$  이고 안정된 단일 첨두 곡선 형태를 띠고 있다. 부남지구에서 참갈겨니의 최적유량은  $7.00 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , 가중가용면적은  $23,618.56 \text{ m}^2 \text{ km}^{-1}$  이고 안정된 단일

(a) Gamdong



(b) Bunam



(c) Daeti

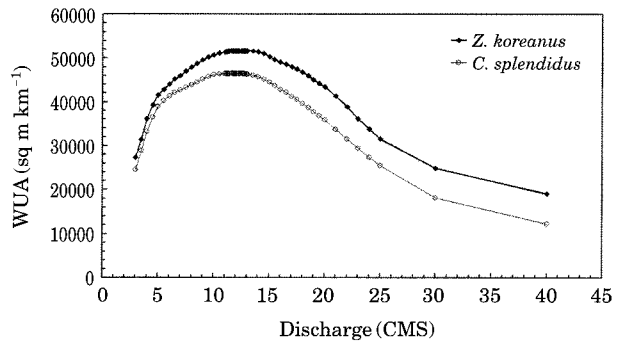


Fig. 6. Changes of WUA to discharge for dominant species.

첨두곡선 형태를 띠고 있다. 쉬리의 최적유량은  $7.00 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , 가중가용면적은  $21,580.29 \text{ m}^2 \text{ km}^{-1}$  이고 안정된 단일 첨두 곡선 형태를 띠고 있다. 대티지구에서 우점종인 참갈겨니의 최적유량은  $12.60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , 가중가용면적은  $51,699.28 \text{ m}^2 \text{ km}^{-1}$  이고 안정된 단일 첨두 곡선 형태를 띠고 있다. 쉬리의 최적유량은  $11.60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , 가중가용면적은  $46,518.24 \text{ m}^2 \text{ km}^{-1}$  이고 안정된 단일 첨두 곡선 형태를 띠고 있다. 따라서, 유사한 수리적 특징을 가지고 있는 감동지구와 대티지구는 비슷한 최적유량을 띠고 있지만 유속이 빠르고 수심이 깊은 부남지구에서는 최적유량이 약 50% 정도 적게 산정되었다. 본 유량은 하천정비기준

계획(건설교통부, 2004)의 용담수위표 유황자료와 비교 검토한 결과 평수량( $17.21 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ )과 풍수량( $9.72 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) 사이에 분포하였다.

적 요

본 연구는 용담댐 직하류 하천정비가 시행되고 있는 구간에서 하도특성과 어류 서식처를 고려하여 생태학적 유지유량을 정량적으로 산정하였다. 댐 건설 전과 후의 하도특성 변화에서 1988년부터 2004년까지 최심하상고 및 하폭의 변동이 거의 없이 안정적이었지만, 하상토 입경은 2004년에 조금 가늘어지고 있다. 어류를 조사한 결과, 갈납자루 등 4과 11종이 채집되었다. 그 중에서 잉어과 참갈겨니가 우점하였고, 쉬리가 아우점하였다. PHABSIM모형을 이용하여 하도특성을 고려한 서식처 적합도(HSC) 지수를 모의한 결과, 감동지구와 대티지구에서 참갈겨니의 최적유량은  $13.90 \sim 12.60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  범위이며, 쉬리의 최적유량은  $15.50 \sim 11.6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  범위이었다. 부남지구에서, 참갈겨니의 최적유량은  $7.00 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 이며, 쉬리의 최적유량은  $7.00 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 이었으며, 용담 유황자료와 비교한 결과 평수량과 풍수량 사이에 해당하는 유량이었다.

사 사

본 연구는 국토해양부 및 한국건설교통기술평가원 건설기술혁신사업(06건설핵심B01-자연과 함께하는 하천복원기술개발(ECORIVER21))의 연구비지원으로 의해 수행되었습니다.

인 용 문 헌

건설교통부. 1999. 금강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서.  
 건설교통부, 한국수자원공사. 2004. 금강상류(초강합류점~용담댐) 하천정비기본계획(보완).  
 건설부. 1988. 금강수계종합정비계획(II) 보고서.

김규호. 1999. 하천 어류 서식 환경의 평가와 최적유량 산정, 연세대학교 토목공학과 박사학위논문.  
 김규호, 조원천, 전병호. 2000. 수량, 수질 모의치를 이용한 어류서식 조건 유지에 필요한 적정유량 산정. 한국수자원학회논문집 33(1): 3-14.  
 성영두, 박봉진, 주기재, 정관수. 2005. 하천의 어류 서식환경을 고려한 생태학적 추천유량 산정. 한국수자원학회논문집 38(7): 545-554.  
 우효섭, 이진원, 김규호. 1998. 물고기 서식처를 고려한 하천유지유량 결정방법의 개발: 금강 본류에 적용. 대한토목학회논문집 18(4): 339-350.  
 전라북도. 1989. 금강하천정비기본계획.  
 전라북도. 1996. 금강, 진안천하천정비기본계획.  
 최홍식, 최준길. 2009. 원주천의 어류군집 진전화를 위한 하도의 서식구조 특성분석. 대한토목학회논문집, 29(3B): 311-317.  
 한국수자원공사. 1995. 하천유지유량 결정방법의 개발 및 적용. IPD-95-2, 연구보고서.  
 허준욱, 김정근. 2009. 용담댐 하류의 하천건강성 평가 및 어류 서식처를 고려한 최적 생태유량 산정. 한국수자원학회논문집 42(6): 481-491.  
 日本國土交通省. 2001. 정상유량 검토의 지침(안), 하천국 하천환경과.  
 Allan, J.D. 1995. Stream Ecology : Structure and Function of Running Waters, Chapman and Hall, New York, NY.  
 Kondolf, G.M. and P.R. Wilcock. 1996. The flushing flow problem: Defining and evaluating objectives. *Water Resources Research* 32: 2589-2599.  
 Stalnaker, C.B., B.L. Lamb, J. Henrikson, K. Bovee and J. Bartholow. 1995. The instream flow incremental methodology a primer for IFIM. Biological report 29, U.S. Department of the Interior National Biological Service, Washington, D.C. 20240.  
 US Geological Survey-Midcontinent Ecological Science Center. 2001. PHABSIM for Windows - User's Manual and Exercises, Open file report 01-340, U.S. Department of the Interior.  
 Washington Department of Fish and Wildlife. 2008. Instream Flow Study Guidelines: Technical and Habitat Suitability Issues.

(Manuscript received 4 August 2009,  
 Revision accepted 10 September 2009)