

## 보 수문 운영에 따른 수생 서식처 변화 연구

# A Case Study of the Aquatic Habitat Changes due to Weir Gate Operation

최병웅<sup>1</sup> · 이남주<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>국립생태원 생태자연도연구팀 연구원, <sup>2</sup>경성대학교 토목공학과 교수

Byungwoong Choi<sup>1</sup> and Namjoo Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Researcher, National Institute of Ecology, Seochon 33657, Korea

<sup>2</sup>Professor, Department of Civil Engineering, Kyungsung University, Busan 48434, Korea

Received 12 October 2020, revised 9 November 2020, accepted 10 November 2020, published online 31 December 2020

**ABSTRACT:** This study was conducted to evaluate the impact of weir gate operation in aquatic fish habitats through a physical habitat simulation of Geum River, Korea. The target species was *Zacco platypus*, which is a dominant species in the study area. The River2D model was used to compute the flow, and the habitat suitability index model was used to estimate the quality and quantity of the habitat using a habitat suitability curve. An unopened case and a partially opened case were investigated to assess the impact of weir gate operation on the aquatic fish habitat. The simulation results showed that the aquatic habitats of the target species in the partially opened case improved significantly, compared to the case without a gate opening. Furthermore, the weighted usable area increased by a factor of approximately 13, owing to weir gate operation in the study area.

**KEYWORDS:** Physical habitat simulation, River2D model, Weighted Usable Area, Weir gate operation, Weir

**요 약:** 본 연구는 다기능 보의 수문 운영 여부에 따라 수생 서식처의 변화를 파악하기 위하여 물리서식처 분석을 수행하였다. 대상 구간은 금강이며, 대상 어종은 피라미를 대상으로 하였다. 흐름 분석은 2차원 모형인 River2D 모형을 사용하였으며, 서식처 분석은 서식처 적합도 곡선을 이용하여 서식처의 양과 질을 산정하는 서식처 적합도 모형을 사용하였다. 수문 개방 여부에 따라 서식처의 변화를 살펴보기 위하여 수문 미개방과 부분개방에 대하여 설정하였다. 그 결과 수문을 부분개방하였을 때 현상태 대비 가중가용면적이 약 13배 향상되는 것으로 나타났다.

**핵심어:** 물리서식처 분석, River2D 모형, 가중가용면적, 수문 운영, 다기능 보

## 1. 서론

하천의 상류부터 하류까지 연속적으로 물리적인 환경이 변하고 이에 따라 서식하는 생물의 종도 연속적으로 변화하여 이어져 있다는 하천 연속성 개념은 매우 중요하다 (Vannote et al. 1980). 연속성 개념에서 가장 많

이 다루게 되는 것이 종적 연속성과 횡적 연속성이다. 종적 연속성은 발원지에서 하구까지의 개념이고, 횡적 연속성은 제방에서 반대편 제방까지를 고려하게 된다. 이러한 연속성 중 특히 종적 연속성을 저해하는 가장 큰 요인으로 하천 내 설치된 횡단구조물을 예로 들 수 있다. 국내의 한강, 낙동강, 금강 등 주요 강에는 각각 4개

\*Corresponding author: njlee@ks.ac.kr, ORCID 0000-0003-1599-846X

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이상의 대형 횡단구조물이 건설되었다. 대형 횡단구조물 중 다기능 보의 경우 수문 운영을 통하여 어느 정도 흐름의 변화를 주어 종적 연속성을 확보할 수는 있지만, 이수와 치수 위주의 계획으로 수생태 관점에서의 수문 운영 계획은 고려되지 않고 있는 실정이다.

일반적으로 하천 내 서식하는 수생물은 이동목적과 시기에 따라 이동범위는 차이를 보이게 된다. 특히 회유성 어종의 경우 산란을 위하여 이동하게 되는데 이러한 횡단 구조물은 큰 장애물이 될 수 밖에 없는 생태적 단절을 초래한다. 또한, 수환경의 변화를 초래하게 되는데 횡단구조물로 인하여 유수환경에서 정수환경으로의 변화가 발생하고, 횡단구조물 상류부분과 좌·우안 정체수역의 증가로 수질이 악화되는 이화학적 상태가 변화하게 된다. 결과적으로는 하천 내 서식하는 수생물의 서식환경은 감소하고, 수생물의 종다양성에도 영향을 미치게 되었다. 그러나 최근 환경과 생태에 대한 관심이 증대되면서, 자연친화적인 하천 환경 조성 및 수생태계 건강성 확보를 위한 수문 운영 계획을 수립하고 있는 실정이다 (Tharme 2003, Tomsic et al. 2007, Papadaki et al. 2014). 이러한 수환경의 변화를 예측하고 대응하기 위해서 물리서식처 분석에 대한 연구가 진행되고 있다. 대형댐 방류 시나리오 변경에 따른 하류 하천 서식처 변화 예측 (Zhang et al. 2016, Kang and Choi 2018, Kang and Jang 2020), 보 철거로 인한 수생 서식처 변화 예측 (Gillenwater et al. 2006, Im et al. 2011), 여울 소 구조를 통한 서식처 복원 효과 분석 (Schwartz and Herricks 2007, Choi et al. 2020) 등을 들 수 있다.

따라서 본 연구는 하천 내 설치된 다기능 보 수문 개방에 따른 우점종의 서식처의 변화에 대해 살펴보기 위하여 물리서식처 분석을 수행하였다. 대상 구간은 금강 본류에 위치한 세종보 상·하류 3 km 구간을 대상으로 하였으며, 대상 어종은 피라미 (*Zacco platypus*)를 선정하였다. 구간 내 수심과 유속의 변화를 살펴보기 위하여 2차원 흐름모형 중 하나인 River2D 모형을 적용하였고, 서식처의 정성적 및 정량적인 변화를 분석하기 위해 서식처 적합도 모형을 사용하였다. 수문 개방에 따른 수생 서식처의 변화를 살펴보기 위해 수문 미개방과 수문 부분개방의 경우로 설정하여 적용하였다. 그리고 대상어종에 대한 서식처 적합도 곡선을 이용하여 서

식처 분석을 수행하고, 각각의 경우에 대한 서식처의 질적 및 양적 변화를 현상태와 비교·분석하였다.

## 2. 연구대상 지역 및 대상 어종

금강은 우리나라 5대강 중 하나로 전라북도 장수군 장수읍 신무산의 뜰봉샘에서 발원하여 충남 강경읍에 서부터 충청남도과 전라북도를 거쳐 최종적으로 군산만으로 흘러드는 총 길이 407.5 km의 강이다. 연구대상 지역인 금강에는 2009년에 4대강 살리기 사업의 일환으로 수행되었던 다기능보 3개 (세종보, 백제보, 부여보)가 설치되어 있다. 금강 본류에 위치하고 있는 다기능보 3개는 2017년 6월 1일부터 보의 효율적인 운영을 위하여 보 수문을 운영 중에 있다. 특히 세종보는 최근 환경 및 생태학적으로 악영향을 미치고 있다고 판단하여, 수문을 지속적으로 개방하여 관리하고 있다. 또한, 나머지 2개의 보에 대해서도 순차적으로 다기능보 수문 운영에 대해서도 관리 계획을 수립하고 있는 실정이다. 세종보의 길이는 고정보 125 m와 가동보 223 m 등 총 348 m이다. 세종보는 수중보로 16개 다기능보 중에서 가장 낮은 2.8 m - 4 m의 높이를 갖고 있다. Fig. 1은 연구 대상지역 3 km 구간을 나타내고 있으며, 금강 본류에 위치해 있는 세종보를 기점으로 상류는 금남교, 하류는 금강교까지를 대상으로 설정하였다. 본 대상구간은 다기능보 정비 사업이 시행된 구간으로 생태 서식 환경이 좋지 않은 구간으로, 최근 탄력적인 보 운영에 따라 예전의 생태 환경을 회복하고 있는 중이다. 금강 본류의 갈수량 ( $Q_{355}$ ), 저수량 ( $Q_{275}$ ), 평수량 ( $Q_{185}$ ), 풍수량 ( $Q_{95}$ )은 각각  $2.56 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $5.33 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $8.96 \text{ m}^3/\text{s}$ , 그리고  $23.30 \text{ m}^3/\text{s}$  이다 ([http://www.wamis.go.kr/WKW/wkw\\_flwdura\\_lst.aspx](http://www.wamis.go.kr/WKW/wkw_flwdura_lst.aspx)).

본 연구에서의 서식처 분석에 사용된 어종은 우리나라 전역에서 우점종으로 서식하는 우수성 어종인 피라미를 대상으로 하였다. 하천의 다양한 흐름 특성 변화에 따른 서식처의 변화를 파악하기 위해서는 다양한 어종을 모두 고려해야 하지만, 본 연구는 다기능 보 수문의 부분 개방에 따른 영향을 파악하기 위한 기초 연구 단계로 추후 다양한 어류 모니터링 자료를 확보하여 추후 연구를 진행할 예정이라는 것을 밝힌다.

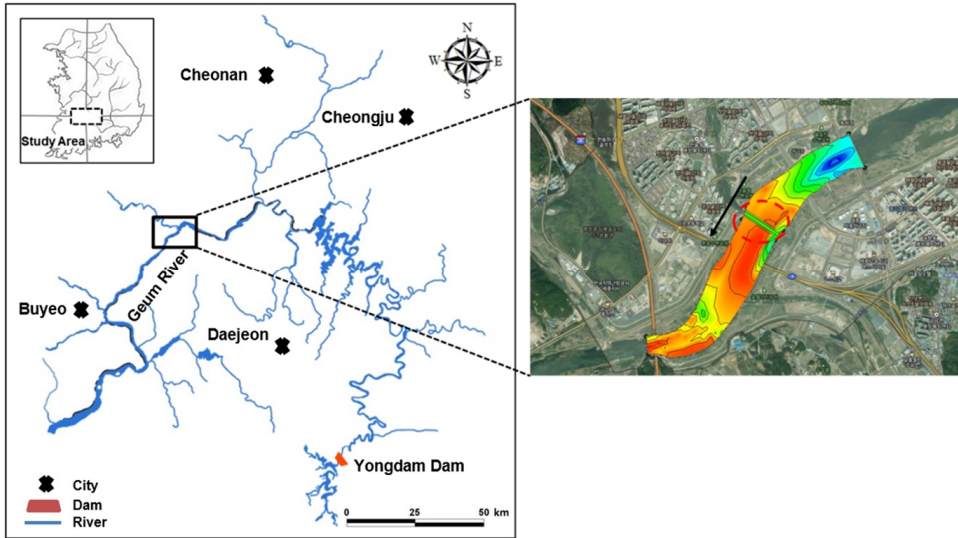


Fig. 1. Study area.

### 3. 물리 서식처 분석

#### 3.1 흐름 모형

본 연구에서는 River2D 모형을 이용하여 수리 및 서식처 분석을 수행하였다(Steffler and Blackburn 2002). 수리분석에 사용된 2차원 수심평균 된 연속방정식과 운동량 방정식은 다음 Eqs. 1 - 3과 같다.

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \tag{Eq. 1}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Uq_x) + \frac{\partial}{\partial y}(Vq_x) + \frac{g}{2} \frac{\partial H^2}{\partial x} \\ & = gH(S_{ox} - S_{fx}) + \frac{1}{\rho} \left\{ \frac{\partial}{\partial x}(H\tau_{xx}) \right\} + \frac{1}{\rho} \left\{ \frac{\partial}{\partial y}(H\tau_{xy}) \right\} \end{aligned} \tag{Eq. 2}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Uq_y) + \frac{\partial}{\partial y}(Vq_y) + \frac{g}{2} \frac{\partial H^2}{\partial y} \\ & = gH(S_{oy} - S_{fy}) + \frac{1}{\rho} \left\{ \frac{\partial}{\partial x}(H\tau_{yx}) \right\} + \frac{1}{\rho} \left\{ \frac{\partial}{\partial y}(H\tau_{yy}) \right\} \end{aligned} \tag{Eq. 3}$$

여기서  $t$ 는 시간,  $x, y$ 는 각각 흐름방향과 횡방향 좌표,  $H$ 는 수심,  $U, V$ 는 각각  $x, y$ 방향의 수심평균된 유속,  $q_x (= HU), q_y (= HV)$ 는 각각  $x, y$ 방향 단위 폭당 유량,

$S_{oi}, S_{fi}$ 는 각각  $i$ 방향 하상경사와 마찰경사이며, 는 난류 응력 텐서이다. Eqs. 2와 3의  $x$ 와  $y$  방향의 마찰경사를 표현하면 다음과 같다.

$$S_{fx} = \frac{u\sqrt{u^2+v^2}}{gHC_s^2}, S_{fy} = \frac{v\sqrt{u^2+v^2}}{gHC_s^2} \tag{Eq. 4a, 4b}$$

여기서 무차원 Chezy 계수 ( $C_s$ )는 유효조도 높이 ( $k_s$ )와 상관성이 있으며, 본 연구에서 흐름 분석에 사용된 유효조도 높이는 0.25 - 0.45의 값을 사용하였다. 일반적으로 유효조도 높이는 하상재료에 따라 달라지며, 하상재료가 자갈과 같은 큰 입도 재료가 지배적인 경우 유효조도 높이의 값은 커지게 된다. 그러나 본 연구의 대상 구간은 대부분이 모래하천으로 이루어져 있기 때문에 유효조도 높이의 값은 크지 않은 것으로 나타났다.

Fig. 2는 본 연구에서 구축된 지형고를 나타낸다. 본 연구의 목적은 다기능 보의 수문 운영에 따른 수생 서식처에 미치는 영향에 대해 파악하는 것이기 때문에 다기능 보 부분만 제외하고는 동일한 지형자료를 사용하였다. Case 1은 다기능 보의 수문 운영을 하지 않은 경우로 대상구간 중간에 다기능 보로 인해 큰 유량을 제외하고는 대부분 흐름이 막혀있는 상태이다. Case 2의 경우는 다기능 보의 수문을 부분적으로 개방하여 어느 정도 흐름을 발생시킬 수 있는 상황이다. 따라서 다기능 보의 운영으로 인한 수생 서식처의 변화가 발생할 것으로

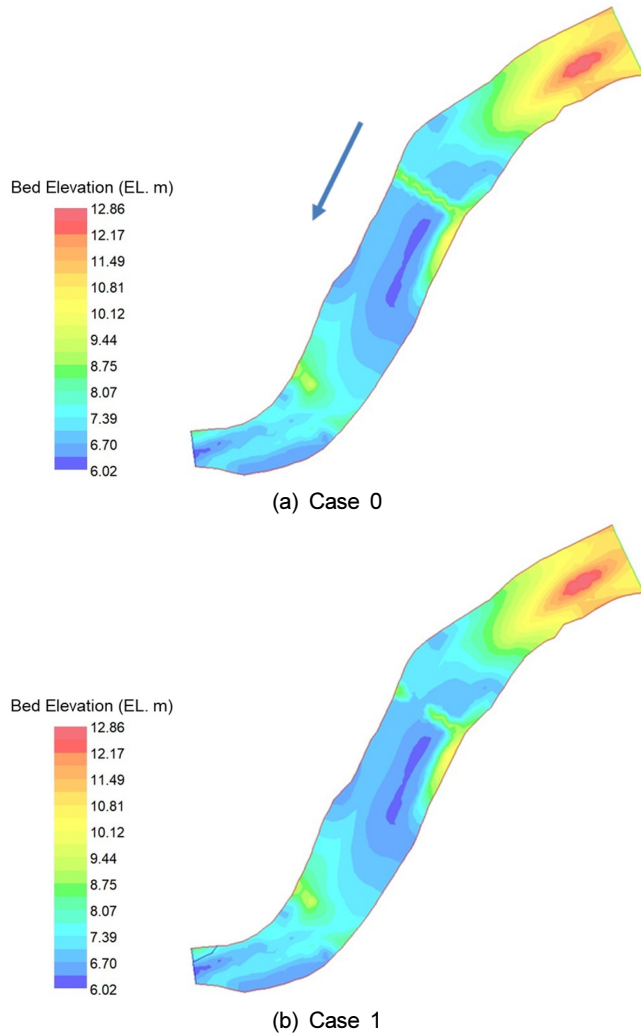


Fig. 2. Distribution of bed elevation.

판단되며, 다기능 보의 운영으로 인한 수생 서식처의 변화 효과를 파악할 수 있을 것으로 기대된다.

### 3.2 서식처 모형

본 연구에서 사용된 River2D 모형에서는 서식처 적합도 모형을 사용하여 서식처 분석을 수행한다. 서식처 적합도 모형은 대상 어종에 대해 물리적 인자의 범위에 따른 어종의 서식 적합도 및 선호도를 지수로 나타낸 서식처 적합도 곡선을 이용하여 산정하는 방법이다. 일반적으로 다양한 물리적 인자를 고려하여 하나의 지수로 나타내게 되는데 이를 복합서식처 적합도지수(Composite Suitability Index, CSI)라고 하며, 이 때 각각의 인자에 대한 서식처 적합도의 값을 곱셈법을 이용하여 산정

하게 된다. 복합서식처 적합도지수의 경우 정성적으로 대상 어종의 선호하는 수생 서식처의 위치를 정성적으로 나타내는 것으로, 이를 이용하여 대상 어종이 차지하는 서식처의 면적을 정량적으로 나타내는 가중가용면적 (Weighted Usable Area, WUA)을 산정할 수 있다. 본 연구에서는 곱셈법을 이용하여 복합서식처 적합도지수를 산정하고 각각의 어종별로 서식처의 면적을 정량적으로 나타내었다. 복합서식처 적합도지수와 가중가용면적 계산에 사용된 식은 다음과 같다.

$$CSI_i = f_v(\nu_i) \times f_H(H_i) \times f_s(s_i) \quad (\text{Eq. 5})$$

여기서  $f_v(\nu_i)$ ,  $f_H(H_i)$ ,  $f_s(s_i)$  각각 수심, 유속, 기층에

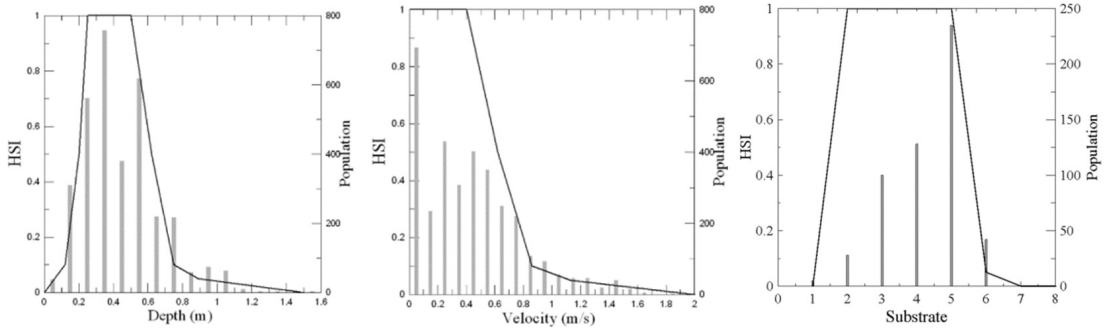


Fig. 3. Habitat suitability curves for *Zacco platypus*.

대한 서식처 적합도 값이다.

$$WUA = \sum_{i=1}^n A_i \times CSI_i = f(Q) \quad (\text{Eq. 6})$$

여기서  $CSI_i$ 와  $A_i$ 는 각각  $i$  셀에서의 복합 서식처 지수와 셀의 면적을 나타낸다.

본 연구에서는 금강 본류에서의 어류 모니터링 자료를 이용하여 물리적 인자별 서식처 적합도 곡선을 구축하였으며, 서식처 적합도 곡선 구축은 Gosse (1982)의 방법을 적용하였다. Gosse (1982)의 방법론을 이용하여 서식처 적합도 곡선을 구축하는 방법은 기존 연구 논문(Choi et al. 2019, 2020)을 확인하면 자세하게 서술되어 있다. Fig. 3은 Gosse (1982)의 방법을 이용하여 대상 어종인 피라미에 대해 물리적 인자에 따른 서식처 적합도 곡선을 구축한 것이다. 서식처 적합도 및 선호도는 0과 1 사이에 분포하며, 0은 대상 어종의 서식처 조건이 나쁨이고, 1에 가까울수록 좋음을 의미한다. 또한, 막대 그래프는 물리적 인자의 해당 범위 내에 분포하는 어종의 개체수를 의미한다. 앞서 설명했듯이 서식처 적합도 곡선은 현장 모니터링 자료를 이용하여 작성되었기 때문에 대상 어종이 선호하는 최적의 물리적 조건 및 특성을 파악할 수 있다는 장점이 있다. 피라미의 경우 선호하는 수심은 0.35 m - 0.4 m의 범위이며, 유속은 0.0 m/s - 0.25 m/s의 범위에서 최적의 조건을 보이는 것으로 나타났다. 기층의 경우 대상 구간은 대부분이 모래로 이루어진 하천으로 피라미의 경우 모래부터 자갈까지 모두 선호하는 어종으로 기층의 경우 수생 서식처의 변화에는 영향이 없을 것으로 판단된다.

Fig. 4는 대상 구간 상류단에 위치한 금남교에서 측

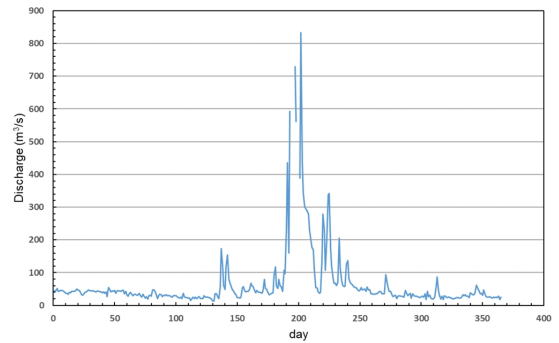


Fig. 4. Mean Daily Discharge Records at Gauging Station (Geumnam Bridge).

정된 2009년도의 일유량을 나타낸 것으로 본 연구에서는 상류단 경계 조건으로 적용하였다. 하류단 경계 조건은 대상 구간에서의 수위-유량 관계 곡선식을 이용하여 산정하고 이를 적용하였다. 그림에서 보면 홍수기 때를 제외하고는 저수량과 풍수량의 유량이 지배적인 것을 확인할 수 있다. 따라서 Case 0의 경우는 다기능 보로 막혀있기 때문에 홍수기 때와 같은 큰 유량을 제외하고는 다기능 보를 기점으로 상류와 하류 흐름 연속성이 단절되었을 것으로 판단된다. 그러나 case 1의 경우는 부분적인 보 운영을 통해 상류와 하류 모두 흐름의 연속성이 확보되어 수생 서식처의 변화가 발생할 것으로 판단된다.

## 4. 결과

환경생태유량은 수생태계 건강성 유지를 위하여 필요한 최소한의 유량이라고 정의되며, 이를 본 연구에 적용하기 위해서 건강성 유지의 개념을 대상 어종의 수생 서식처가 최대가 되는 유량으로 설정하였다. 대상

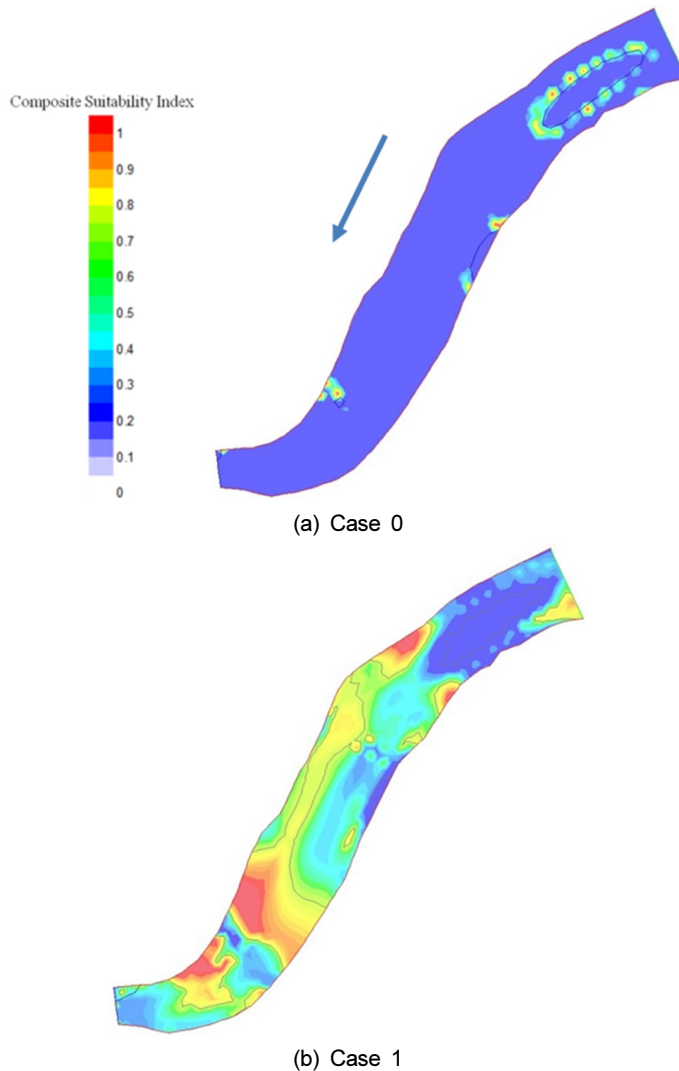


Fig. 5. Distributions of CSI for the target species.

구간에서 대상 어종에 대해 유량을 점진적으로 증가시키면서 가중가용면적의 변화를 살펴본 결과, 피라미의 수생 서식처가 최대가 되는 유량은  $6.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 나타났다.

Fig. 5는 case별로 다기능 보의 수문 운영 유·무인 경우에 대해 정량적으로 살펴본 복합서식처 적합도지수 분포를 나타낸 것이다. 복합서식처 적합도지수 분포의 경우는 수생 서식처가 최대가 되는 환경생태유량 조건에서의 결과를 나타내었다. Case 0의 경우, 다기능 보의 수문을 운영하지 않기 때문에 수생 서식처가 매우 약화되어 있는 것을 확인할 수 있다. 다기능 보를 기준으로 상류 부분은 보의 수문을 개방하지 않았기 때문에 웅덩이가 형성되는 반면, 하류는 큰 유량인 경우를 제외

하고는 흐름의 연속성이 확보되지 않아서 서식처의 조건을 만족하지 못한 것으로 나타났다. 그러나 case 1의 경우 다기능 보의 수문을 부분적으로 개방하였기 때문에 흐름의 연속성이 확보되었을 뿐만 아니라 이로 인해 수생 서식처가 극대화 되었음을 확인할 수 있다. 대상 구간 내 전반적으로 수심 및 유속의 변화가 발생되어 수심이 얇고 유속이 빠르게 발생하는 우수성 어종이 선호하는 조건을 만족한 것으로 확인할 수 있다.

앞선 복합서식처 적합도지수 분포도를 이용하여 정량적인 서식처 지표인 가중가용면적의 변화를 살펴보았을 때, case 0인 경우에는  $1,531 \text{ m}^2$ , case 1인 경우에는  $22,539 \text{ m}^2$ 으로 확인되었다. 이는 다기능 보 수문을



부분적으로 개방하였을 때 그렇지 않은 경우보다 약 13배의 수생 서식처 향상 효과를 보이는 것을 의미한다. 다기능 보의 목적 중에서 이수의 기능도 역시 중요하지만, 본 연구에서는 수생 서식처의 변화에 중점을 두고 살펴보았다. 다양한 대상 어종 특히 정수성 어종을 고려한다면, 다른 결과를 보일 수 있을 것으로도 판단된다. 이에 대해서는 수량 뿐만 아니라 수질까지도 고려하여 분석을 수행해야 할 것이며, 이에 대해서도 추후 계획하여 분석 할 예정이다. 본 연구를 통하여 수생태 관점에서 하천 내 설치된 다기능 보의 수문 운영 계획에 대해 생태학적으로 제시할 수 있는 중요한 기초 연구가 될 것으로 판단된다.

## 5. 결론 및 고찰

본 연구는 다기능 보의 수문 개방이 수생 서식처에 미치는 영향에 대해 금강의 세종보를 대상으로 물리서식처 분석을 수행하였다. 대상 구간은 금강 본류 내 금남교부터 금강대교까지 약 3 km 구간으로, 대상 어종은 우점종인 피라미를 목표로 하였다. 수리분석과 서식처 분석은 각각 River2D 모형과 서식처 적합도 모형을 사용하였다. 서식처 적합도 모형에 사용된 서식처 적합도 곡선은 Gosse (1982)의 방법을 이용하여 구축하였으며, 수심, 유속, 기층을 모두 고려하여 물리 서식처 분석을 수행하였다.

금강 본류 내 설치된 세종보에 대하여 수문 운영 유무에 따라서 수생 서식처의 변화를 살펴보았다. 수문 운영의 효과를 살펴보기 위하여 하도의 지형은 동일하게 구축하였으며, 수문의 개방 여부에 대해서만 고려하여 적용하였다. 수문의 개방에 따른 수생 서식처의 영향에 대해 살펴보기 위해 물리서식처 분석을 수행한 결과 수문 운영에 따라 흐름의 연속성이 확보되어 수생 서식처가 향상되는 것을 확인하였다. 정량적으로 살펴본 것을 부분적으로 수문을 개방하였음에도 불구하고 기존 대비 약 13배의 수생 서식처가 향상되는 것으로 나타났다. 추후에 다양한 어종의 도입 및 수질 분석까지 고려하여 분석한다면, 수생태 관점에서의 다기능 보 수문 운영에 대한 계획을 수립할 수 있을 것으로 판단된다. 나아가 하천 내 설치된 다기능 보의 운영 계획뿐만 아니라 다양한 정책 판단에 중요한 기초자료가 될 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원 수생태계 건강성 확보 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다 (2020003050002).

## References

- Choi, H.S., Choi, J., and Choi, B. 2019. Impact on fish community by restoration of ecological waterway using physical habitat simulation. *Ecology and Resilient Infrastructure* 6(1), 1-11. doi:10.17820/eri.2019.6.1.001 (in Korean)
- Choi, H.S., Choi, J., and Choi, B. 2020. A case study of the habitat changes for the fish community due to the restoration of pool-riffle sequence. *Ecology and Resilient Infrastructure* 7(1), 53-62. doi:10.17820/eri.2020.7.1.053 (in Korean)
- Gillenwater, D., Granata, T., and Zika, U. 2006. GIS-based modeling of spawning habitat suitability for walleye in the Sandusky River, Ohio, and implications for dam removal and river restoration. *Ecological Engineering* 28(3): 311-323.
- Gosse, J.C. 1982. Microhabitat of rainbow and cutthroat trout in the Green River below Flaming Gorge Dam. Final report, contract 81 5049. Utah Division of Wildlife Resources, Salt Lake City. p. 114.
- Im, D., Kang, H., Kim K.-H., and Choi, S.-U. 2011. Changes of river morphology and physical fish habitat following weir removal. *Ecological Engineering* 37: 883-892.
- Kang, H. and Choi, B. 2018. Dominant fish and macro-invertebrate response to flow changes of the Geum River in Korea. *Water* 10(7): 942.
- Kang, T.U. and Jang, C.-L. 2020. An Experiment on Flow Simulation Depending on Opening Configuration of Weir Using a Numerical Model. *Ecology and Resilient Infrastructure* 7(3): 218-226. doi:10.17820/eri.2020.7.3.218
- Papadaki, C., Ntoanidis, L., Zogaris, S., Martinez-Capel, F., Muñoz-Mas, R., Evelpidou, N., and Dimitriou, E. 2014. Habitat hydraulic modelling for environmental flow restoration in upland streams in Greece. In 12th International Conference on Protection and Restoration of the Environment, 385-392.
- Schwartz, J.S. and Herricks, E.E. 2007. Evaluation of pool-riffle naturalization structures on habitat complexity and the fish community in an urban Illinois stream. *River Research and Applications* 23(4): 451-466.
- Steffler, P. and Blackburn, J. 2002. River2D, Two-dimensional depth averaged model of river hydrodynamics and fish habitat. *Introduction to Depth Averaged Modeling*

- and User's Manual, University of Alberta.
- Tharme, R.E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications* 19: 397-441.
- Tomsic, C.A., Granata, T.C., Murphy, R.P., and Livchak, C.J. 2007. Using a coupled eco-hydrodynamic model to predict habitat for target species following dam removal. *Ecological Engineering* 30(3): 215-230.
- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R., and Cushing, C.E. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37(1): 130-137.
- Zhang, W., Di, Z., Yao, W.W., and Li, L. 2016. Optimizing the operation of a hydraulic dam for ecological flow requirements of the You-shui River due to a hydropower station construction. *Lake and Reservoir Management* 32(1): 1-12.