

Original article

## Wadeable stream에서 하천차수에 따라 보(weir)가 어류군집에 미치는 영향

김정희<sup>1</sup> · 윤주덕<sup>2</sup> · 박상현<sup>1,3</sup> · 백승호<sup>1</sup> · 이혜진<sup>4</sup> · 김규진<sup>5</sup> · 장민호<sup>5,\*</sup>

<sup>1</sup>주식회사 에코리서치, <sup>2</sup>국립생태원 멸종위기종복원센터, <sup>3</sup>목포대학교 해양수산자원학과, <sup>4</sup>국립환경과학원 물환경공학연구과, <sup>5</sup>공주대학교 생물교육과

**The Impact of Weirs on Fish Assemblage according to Stream Order in Wadeable Stream.** Jeong-Hui Kim<sup>1</sup> (0000-0003-2331-4232), Ju-Duk Yoon<sup>2</sup> (0000-0003-1667-327x), Sang-Hyeon Park<sup>1,3</sup> (0000-0001-6036-8489), Seung-Ho Baek<sup>1</sup> (0000-0002-8280-8665), Hae-Jin Lee<sup>4</sup> (0000-0002-0380-7024), Kyu-Jin Kim<sup>5</sup> (0000-0002-7826-9961) and Min-Ho Jang<sup>5,\*</sup> (0000-0001-6108-3186) (<sup>1</sup>EcoResearch incorporated, Gongju 32588, Republic of Korea; <sup>2</sup>Research Center for Endangered species, National Institute of Ecology, Yeongyang 36531, Republic of Korea; <sup>3</sup>Department of Marine Fisheries Resources, Mokpo National University, Mokpo 58554, Republic of Korea; <sup>4</sup>Water Environmental Engineering Research Division, National Institute of Environmental Research, Incheon 22689, Republic of Korea; <sup>5</sup>Department of Biology Education, Kongju National University, Gongju 32588, Republic of Korea)

**Abstract** In this study, we analyzed the effects of the presence or absence of weirs on fish assemblages in wadeable streams (Stream order 1<sup>st</sup>~4<sup>th</sup>). More specifically, we investigated these effects by evaluating the differences in stream size. The results showed differences in the fish assemblages in third or higher order streams (PERMANOVA,  $P < 0.005$ ). The presence or absence of weirs mainly affected variables such as the number of species the individuals, and species richness index, whereas no difference was observed in the populations of exotic, endemic, and endangered species. A SIMPER analysis showed that the common species *Zacco platypus*, *Zacco koreanus*, and *Pungtungia herzi* are dominant in their corresponding streams (contribution > 5%), and that these are the main contributors to differences among the fish assemblages. All these species showed high relative abundances at the sites with weirs. Altered environments by the presence of weirs provided these species with concentrated habitats. In summary, this study analyzed the effects of weirs on fish assemblages on a broad, nationwide, scale, and these results can effectively aid future studies on the specific effects of weirs.

**Key words:** freshwater fish, weir, stream order, SIMPER, species richness, PERMANOVA

## 서 론

인간은 하천 및 강에서 용수를 활용하고 전력을 공급하기 위해서 보(weir)와 댐(dam)과 같은 많은 인공구조물을 건설

하였다. 그중 가장 많은 수를 차지하고 있는 보는 하천 및 강에서 가장 많이 건설되어 영향을 주고 있는 구조물이다(Poff *et al.*, 1997). 인위적으로 건설된 구조물을 관리하기 위해서는 다양한 방면의 연구가 필요하다. 댐과 같은 대규모 구조물이 어류에 미치는 영향에 대해서 매우 많은 연구가 되었으나, 보와 같은 소규모 구조물에 대해서는 상대적으로 관심이 적었다(Cumming, 2004). 최근 보의 관리 및 제거에 대한 관심이 증대됨에 따라서 보와 관련된 연구가 지속적으로 증가하

Manuscript received 19 March 2020, revised 30 May 2020, revision accepted 31 May 2020  
\* Corresponding author: Tel: +82-41-850-8285, Fax: +82-41-850-8842  
E-mail: jangmino@kongju.ac.kr

고 있다.

보가 어류에 미치는 영향에 대해서는 어류 이동 및 군집의 분리와 관련하여 주로 연구가 이루어졌으며(Peter, 1998; Penczak and Kruk, 2000), 이외에도 다수의 수계에서 보가 하천의 물리적인 서식처 요소와 어류군집에 미치는 영향에 대해서 연구되었다(Helms *et al.*, 2011). 이러한 연구들은 대부분 보가 어류 이동을 차단하고 어류 다양성을 감소시키는 등 부정적인 영향을 나타내는 것으로 보고하였으며(Porto *et al.*, 1999; Lucas *et al.*, 2009; Thoni *et al.*, 2014), 이는 보가 어류군집에 미치는 일반적인 영향으로 제시되고 있다. 반면 보는 어류의 이동을 막는 장벽으로 작용하지만, 이는 침입종(invasive species)의 확산을 방지하기도 한다(Brown *et al.*, 2005; Marion *et al.*, 2012). 또한 보가 생성하는 물리적 환경이 특정 분류군(specific taxa)을 증가시키는 등(Thoni *et al.*, 2014), 긍정적인 영향도 일부 보고되어 있다. 보가 어류군집에 미치는 영향은 국가별로 차이가 있으며, 동일한 국가 내에서도 수계별로 차이가 있는 것으로 보고되었다(Holcomb *et al.*, 2016).

한국에서 보의 관리는 2010년 이후부터 관심을 가지기 시작하였다. 이를 위해 우선적으로 보의 현황 및 위치를 전수 조사하였으며, 전국적으로 34,000개 이상이 건설되어 있는 것으로 확인되었다(Cha *et al.*, 2015). 반면, 이들 보가 하천의 어류군집에 미치는 영향에 대한 연구는 아직까지 많지 않다. 일부 연구가 단일 보를 대상으로 물리적 서식처 모델(physical habitat simulation model)을 활용하여, 보가 어류 서식처 변화에 미치는 영향이 연구되었으나(Im *et al.*, 2011), 이러한 연구는 전반적인 보와 어류군집 간의 관련성을 밝히는 데는 한계가 있다. 따라서, 본 연구는 전국적으로 분포하고 있는 한국의 wadeable stream (4차 하천 이하)을 대상으로 보가 어류군집에 미치는 영향을 파악하였다. 하천의 규모에 따라서 영향이 다르게 나타날 수 있기 때문에 하천차수(stream order)별 보의 유·무에 따른 어류군집 차이를 분석하였다. 또한 보의 유·무가 특정 어종에 대해서 영향을 미치는지를 파악하기 위해서 통계 분석을 통해서 어류군집 차이에 기여도가 높은 종들을 파악하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사 지점

조사는 환경부에 의해 모니터링되고 있는 960개 수생태계 건강성 평가 지점 중 다음 2개의 조건에 맞는 지점을 선택하여 조사가 이루어졌다. 1) 하천의 규모를 4차 이하로 제한하였다. 5차 하천 이상의 경우 nonwadeable stream으로 수심이 깊어서, wadeable stream과 동일한 조사 방법으로 비교가

어렵기 때문에 조사에서 제외하였다(Yoon *et al.*, 2011). 하천차수는 1:120,000의 지도를 이용하여 Strahler (1957)의 방법을 따라 결정하였다. 2) 도서 지역에 위치한 지점과 하천 내 물리적 교란요인이 발생하고 있는 지점을 제외하였다. 한국의 도서지역의 경우 내륙의 하천과 비교하여 담수 어류의 서식이 매우 제한적이다. 따라서 내륙의 하천과의 직접적인 비교가 어렵다. 하천공사와 같은 물리적인 교란요인은 해당 지점의 어류군집에 큰 영향을 주기 때문에 본 연구 결과에 영향을 미칠 수 있다. 이를 토대로 총 608개의 지점을 선택하여 조사가 실시되었다(Fig. 1).

### 2. 현장 조사

어류의 조사는 2012년 5월과 9월 각각 1회씩 총 2회가 이루어졌다. 조사 시기에 따라 어류의 출현 유무가 달라질 수 있기 때문에 전체 지점에 대해서 동시에 조사가 실시되었다. 608개의 많은 지점을 조사하기 위해 전문가로 이루어진 총 13개의 조사팀(1팀 3명 기준)이 동일한 기간 동안 조사를 실시하였다. 어류 채집은 조사 지점에 대해서 상류와 하류를 포함한 총 200 m 구간에 대해서 실시되었으며, “생물 측정망 조사 및 평가지침”에 따라 족대(망목, 5 mm)와 투망(망목, 7 mm)을 이용하여 조사되었다(MOE/NIER, 2008). 채집된 어류는 현장에서 동정 및 계수하여 방류하였으며, 동정은 Kim and Park (2002)을, 분류체계는 Nelson *et al.* (2016)을 따랐다.

현장 조사 시 보의 유·무에 따라서 보가 있는 지점(weir presence site, WPS)과 없는 지점(weir absence site, WAS)으로 구분하였다. 200 m의 조사구간 내 보가 위치하고 있는 경우 WPS (183개 지점)로 체크하였으며, 없는 경우 WAS (425개 지점)로 체크하였다(Fig. 1). 보가 위치하고 있는 경우 반드시 상류와 하류 모두에서 어류를 채집하였다.

### 3. 자료 분석

보의 유·무에 따른 어류군집 분석은 총 6개 항목(총 출현 종수, 총 출현 개체수, 종 풍부도, 외래종 개체수, 고유종 개체수, 보호종 개체수)을 이용해서 이루어졌다. 종 풍부도는 지점별 어류군집을 이용하여 Margalef index를 산정하였다(Margalef, 1958). 외래종과 고유종, 보호종은 2018년도 환경부 지정 목록을 기준으로 구분하였으며, 지점별 채집된 개체수를 이용하여 분석하였다.

하천차수(1~4차)별 WAS와 WPS 지점들 간 6개 어류군집 분석 항목의 차이는 비모수 검정인 Mann-Whitney U test를 이용하여 분석하였다(SPSS Inc., Chicago, IL, USA). 또한, WAS와 WPS의 어류군집 차이를 확인하기 위해서 PERMANOVA (permutational multivariate analysis of vari-

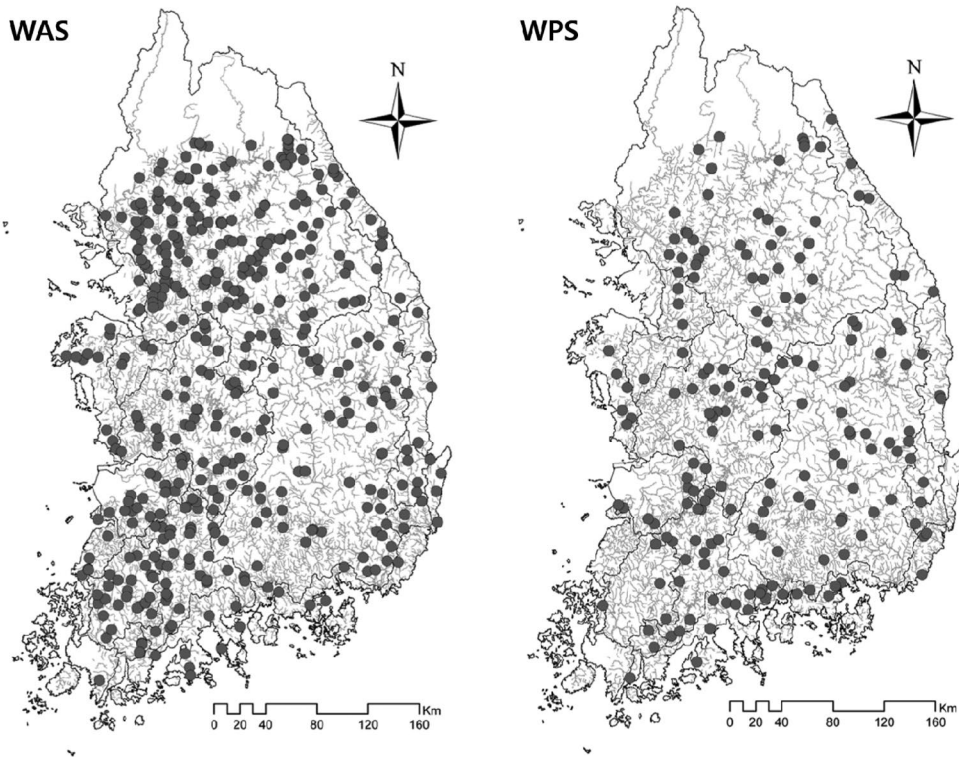


Fig. 1. Map with the study sites. WAS and WPS represent weir absent sites and weir present sites, respectively.

ance) 분석을 실시하였으며(Anderson *et al.*, 2008), SIMPER (similarity percentage) 분석을 통해서 어류군집 차이에 기여하는 주요종을 확인하였다. 분석을 위한 Similarity matrix는 지점별 채집된 종별 개체수를 square-root-transforming하고 각 pairwise assemblage에 대한 Bray-Curtis similarity index를 산정하였다. PERMANOVA 분석과 SIMPER 분석은 모두 Primer 6 (Primer-E Ltd. Plymouth, UK)를 이용하였다.

## 결 과

총 608지점에 대한 조사 결과, 지점별 어류의 평균(±표준편차) 종수는  $9.7 \pm 4.2$ , 개체수는  $245.5 \pm 177.8$ 로 확인되었다(Table 1). 전체 지점에서 우점종과 아우점종은 각각 피라미(*Zacco platypus*; 상대풍부도, 32.1%)와 참갈겨니(*Zacco koreanus*; 20.7%)로 나타났다. 하천차수별 어류군집 분석 시 총 출현 종수 및 총 출현 개체수는 하천차수가 증가함에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 나타냈으며, 이에 따라 우점종과 아우점종도 같이 바뀌었다.

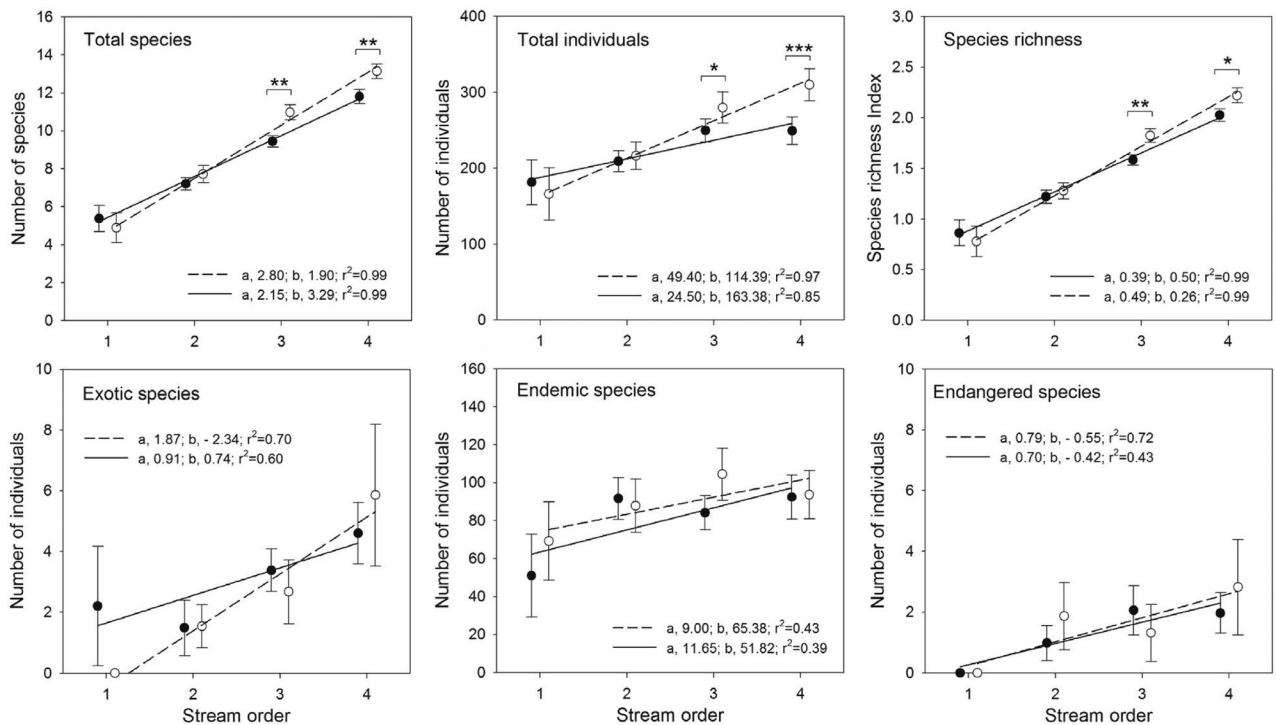
WAS와 WPS로 구분할 때 총 출현 종수, 총 출현 개체수, 종 풍부도 항목은 하천차수에 따라 점차 증가하는 패턴을 나

타냈다(Fig. 2). Mann-Whitney *U* test를 활용하여 차수별 항목들에 대해 비교한 결과 1차와 2차 하천에서는 WAS와 WPS 간 차이가 나타나지 않았으며( $P > 0.05$ ), 3차와 4차 하천의 경우 통계적으로 유의한 차이( $P < 0.05$ )를 보였다. 종수 및 개체수와 관련된 이들 3개의 항목은 3차와 4차 하천 모두 WAS와 비교하여 WPS에서 더 높게 나타났다. 따라서, 3차 이상의 하천에서 보가 어류 종수 및 개체수의 증가에 긍정적인 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 이외 외래종 개체수, 고유종 개체수, 보호종 개체수는 차수 증가에 증가하는 경향을 보였으나, 증가폭은 크지 않았다. 또한 차수별 WAS와 WPS 간 통계 비교( $P > 0.05$ )에서도 유의한 차이를 나타내지 않아 보의 유·무에 따라서 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

PERMANOVA에 의해 하천차수별 보의 유·무에 따른 어류군집 유사도를 분석한 결과 1차( $F$ , 1.14;  $P$ , 0.375)와 2차( $F$ , 1.57;  $P$ , 0.118) 하천의 어류군집은 차이가 없는 것으로 확인되었으며, 3차( $F$ , 2.52;  $P$ , 0.011)와 4차( $F$ , 2.68;  $P$ , 0.012) 하천의 어류군집은 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. SIMPER 분석을 통한 3차 하천과 4차 하천의 WAS와 WPS 간 어류군집의 average dissimilarity는 각각 71.44%와 65.64%로 나타났으며, 차이에 기여하는 주요종은 피라미(*Z.*

**Table 1.** Number of study sites and characteristics of fish communities based on stream order. WAS and WPS indicate the absence and presence of weirs, respectively. RA indicates relative abundance.

Stream order	Number of site			Fish community			
	Total	WAS	WPS	No. species (Mean ± SD)	No. individuals (Mean ± SD)	Dominant species (RA)	Subdominant species (RA)
1 <sup>st</sup>	33	24	9	5.2 ± 3.1	177.0 ± 130.7	<i>Zacco koreanus</i> (27.7%)	<i>Rhynchocypris oxycephalus</i> (27.1%)
2 <sup>nd</sup>	144	98	46	7.4 ± 3.2	211.2 ± 132.4	<i>Zacco koreanus</i> (25.9%)	<i>Zacco platypus</i> (22.1%)
3 <sup>rd</sup>	248	175	73	9.9 ± 3.9	258.3 ± 190.4	<i>Zacco platypus</i> (35.0%)	<i>Zacco koreanus</i> (20.5%)
4 <sup>th</sup>	183	128	55	12.2 ± 3.9	264.7 ± 191.2	<i>Zacco platypus</i> (36.0%)	<i>Zacco koreanus</i> (17.1%)
Total	608	425	183	9.7 ± 4.2	245.5 ± 177.8	<i>Zacco platypus</i> (32.1%)	<i>Zacco koreanus</i> (20.7%)



**Fig. 2.** Comparison of fish assemblage variables by presence or absence of weir and stream order. Black and white circles represent WAS and WPS, respectively. Mann-Whitney *U* tests were used to analyze differences depending on the weir presence, statistical differences are marked using asterisks (\*,  $P < 0.05$ ; \*\*,  $P < 0.01$ ; \*\*\*,  $P < 0.001$ ). Linear regression analyses were performed per variable and stream order ( $y = ax + b$ ).

*platypus*), 참갈겨니 (*Z. koreanus*), 돌고기 (*Pungtungia herzi*) 로 확인되었다 (Table 2). 이들 종은 3차와 4차 하천 모두 보가 없는 지점보다 보가 있는 지점에서 평균 상대풍부도가 높게 나타나, 보의 존재가 이들 종들의 서식에 있어서 긍정적인 영향을 미치는 것을 확인하였다.

## 고찰

하천차수는 하천의 규모를 구분하는 대표적인 방법 중 하나로 한국의 wadeable stream을 대상으로 한 본 연구에서 하천차수가 증가할수록 종수 및 개체수가 증가하는 때

**Table 2.** Dissimilarity of fish assemblages between WAS and WPS in third and fourth order streams as determined using SIMPER. “Contrib%” shows the contribution of each species to the observed difference. Only species with Contrib% > 5% are given.

3 <sup>rd</sup> order stream				4 <sup>th</sup> order stream			
Average dissimilarity = 71.44				Average dissimilarity = 65.64			
Species	Average abundance (%)		Contrib%	Species	Average abundance (%)		Contrib%
	WAS	WPS			WAS	WPS	
<i>Zacco platypus</i>	7.36	8.52	11.78	<i>Zacco koreanus</i>	3.83	4.77	9.90
<i>Zacco koreanus</i>	4.33	5.38	11.36	<i>Zacco platypus</i>	8.09	10.23	9.50
<i>Pungtungia herzi</i>	1.82	2.69	5.04	<i>Pungtungia herzi</i>	2.39	3.06	5.22

턴을 나타냈다. 일반적으로 하천의 규모가 커질수록 서식처의 규모와 복잡성이 증가되며, 이에 따라 종 풍부도가 증가한다(Horwitz, 1978; Penczak and Mann, 1990; Schlosser, 1990). 한국에서도 Yoon *et al.* (2011)이 하천의 규모 증가에 따른 종수 및 개체수 증가를 보고하였으며, 이는 본 연구의 결과와 동일하다. 또한 외래종, 고유종, 보호종의 개체수도 하천차수가 커지면서 증가하는 경향을 보였다. 다만 차수에 따른 증가폭이 크기 않았는데, 이는 기본적으로 각 지점에서 출현하는 외래종, 고유종, 보호종의 종수가 많지 않기 때문인 것으로 판단된다.

어류의 분포는 서식처의 특이성에 영향을 받기 때문에(Matthews and Robison, 1988), 보의 건설로 인하여 변화된 서식처 환경이 어류의 분포에 영향을 미칠 수 있다. 또한 Holcomb *et al.* (2016)은 이러한 보가 어류군집에 미치는 영향이 서식어종의 차이에 따라서 다를 수 있음을 보고하였다. 이에 따라 실제로 보가 어류군집에 미치는 영향에 대해서 다양한 결과가 제시되어 있다. Porto *et al.* (1999)의 연구에 의하면 보와 낮은 댐의 건설로 인하여 변화된 환경이 종 다양성에 부정적인 영향을 미치는 것으로 보고되어 있으며, Thoni *et al.* (2014)은 보의 존재가 특정 분류군의 증가에 도움이 되기 때문에 어류군집에 있어서 긍정적인 영향을 나타냄을 보고하였다. 본 연구 결과에 의하면 보의 건설이 하천에 서식하는 출현 종수, 출현 개체수, 종 풍부도를 증가시키는 긍정적인 영향을 나타냈다. 또한 이러한 영향은 동일 국가에서도 지역적 차이로 인하여 다르게 나타날 수 있으나(Holcomb *et al.*, 2016), 한국의 경우 수계별 어류군집이 유사하기 때문에(Yoon *et al.*, 2011), 지역적인 차이가 크게 나타나지 않은 것으로 판단된다.

본 연구에서 보가 어류군집에 미치는 영향은 3차와 4차 하천에서 확인되었다. 이는 하천의 규모에 따라 서식처 다양성이 차이가 있으며, 이로 인해 서식 가능 어종이 차이를 보이기 때문으로 판단된다. 실제로 1차와 2차 하천의 경우 서식

처 규모가 작으며, 서식처의 유형도 단순하다. 서식처 유형의 다양성은 종수에 영향을 미치며(Gorman and Karr, 1978), 서식처 규모는 개체군의 크기에 영향을 미친다(Eitzmann and Paukert, 2010). 이에 따라 1차와 2차 하천에서 서식 가능한 어종 수가 평균 5.2 (1차 하천)~7.4 (2차 하천)종으로 제한되어 나타났다. 보의 상류는 완전한 정수 환경을 나타내며, 하류의 경우 tailrace로 인하여 plunge pool이 생성된다(Thoni *et al.*, 2014). 보 상류에서 plunge pool로 모여든 물은 하나 또는 두 개의 수로를 통해서 하류로 이동하면서 여울(riffle)을 형성한다. 자연환경에서 이러한 다양한 서식처는 긴 종적 구간에서 반복적으로 형성되는 반면, 보가 있는 경우 보와 인접한 구간(<200 m)에 다양한 서식환경이 마련된다. 또한 보의 상류에서 하류로 이동하는 먹이원이 plunge pool에 집중되어 충분한 먹이 공급이 이루어지며(Singer and Gangloff, 2011), 이는 bottom-up effect로 인하여 수생태계 내에서 최상위 소비자인 어류의 개체수를 증가시킨다(McCormick, 2012). 결과적으로 이러한 보 인근의 짧은 구간이 어류에게 있어서 서식처 및 먹이원이 풍부한 주요 서식처(intensive habitat)로 제공되고 있으며, 따라서 보 있는 지점에서 없는 지점보다 많은 종과 개체가 채집될 수 있었던 것으로 판단된다.

Poulet (2007)의 연구에 의하면 보는 도입종(introduced species)의 증가에 영향을 미친다고 보고하였다. 반면 본 연구에서는 보 있는 지점과 없는 지점에서 외래종 개체수가 차이를 보이지 않았다. 한국에서 전국적으로 분포하는 떡붕어(*Carassius cuvieri*), 배스(*Micropterus salmoides*), 블루길(*Lepomis macrochirus*)과 같은 외래종은 하천보다는 호소환경에서 주로 서식한다(Kim and Park, 2002; Lee *et al.*, 2013). 따라서 wadeable stream에서 외래종의 서식 비율이 매우 낮으며(Yoon *et al.*, 2011), 이로 인해 보로 인해 변화된 환경에 대해서 크게 반응을 하지 않았던 것으로 판단된다. 외래종뿐만 아니라 고유종과 보호종도 보가 있는 지점과 없는

지점에서 개체수 차이를 보이지 않았다.

본 연구에서 SIMPER 분석의 결과에 의하면 보 유·무에 따라 어류군집에 주요한 차이를 나타내는 종이 피라미(*Z. platypus*), 참갈겨니(*Z. koreanus*), 돌고기(*P. herzi*)로 나타났으며, 보가 있는 환경에서 이들의 상대풍부도가 더 크게 나타났다. 이는 보가 만드는 주요 서식처가 새로운 종에 대한 서식처로 이용되기보다는, 원래 우점적으로 서식하는 보편종(common species)에 의해 활용되고 있음을 의미한다. 또한 이러한 주요 서식처는 한국의 시기적인 특성에 따라서 장·단점을 가진다. 한국은 몬순기후에 의해서 강우가 여름과 가을에 편향되며, 겨울과 봄철은 가뭄으로 하천의 유량이 급격히 감소한다. 다른 지점보다 상대적으로 유량이 풍부한 주요 서식처의 plunge pool은 어류가 서식할 수 있는 공간을 제공하여 해당 하천의 어류 개체군 유지에 도움이 된다(Langeani *et al.*, 2005). 반면 좁은 공간에 개체군 밀도가 높아질 경우 질병의 발생 및 확산이 쉽게 나타날 수 있으며(Fagerlund *et al.*, 1981), 오염물질의 유입과 같은 갑작스러운 교란요인에 의해서 집단 폐사가 발생할 수 있다는 단점도 가지고 있다(Islam and Tanaka, 2004).

본 연구는 전국 범위에서 한국의 하천에 건설된 보가 어류군집에 어떠한 영향을 나타내는지를 분석하였다. 이를 통해 일정 규모 이상의 하천에서 보의 유·무에 따라서 어류군집의 차이가 있는지를 확인하였으나, 이러한 폭넓은 정보를 보 관리를 위한 세부적인 정책을 마련에 이용하기에는 한계가 있다. 최근 미국과 유럽의 일부 국가에서는 보의 물리적인 상태에 따라 수생생물에 미치는 영향의 차이를 파악하고, 이러한 결과를 토대로 보 제거 지점의 우선순위를 선정하는 등 관리를 위한 세부적인 연구가 이루어지고 있다(Doyle *et al.*, 2005; Miranda *et al.*, 2005; Poulet, 2007; Singer and Gangloff, 2011; Holcomb *et al.*, 2016). 반면 한국은 보에 대한 관심을 가진 지가 오래되지 않아서 이러한 연구가 상당히 부족하며, 따라서 한국 실정에 맞는 세부적인 연구가 추가로 실시되어야 한다. 추가 연구에서는 보 구조물로 인해 발생하는 물리적, 수문학적 변화를 명확하게 조사하여 어류군집 변화와의 연관성을 확인하고, 어류군집뿐만 아니라 종별 생체량(biomass)을 측정하여, 보가 어류군집에 미치는 영향을 보다 정확하게 분석할 필요성이 있다. 이러한 연구를 통해 도출된 객관적인 자료는 향후 국내 하천의 보 관리 정책 마련에 큰 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

## 적 요

본 연구는 wadeable stream (1차~4차 하천)을 대상으

로 보의 유·무에 따른 어류군집의 차이를 분석하였다. 하천의 규모에 따른 차이를 분석하기 위해서 하천차수로 구분하여 보의 유·무가 어류군집에 영향을 미치는지를 파악하였으며, 3차와 4차 하천에서 어류군집의 차이가 확인되었다( $P < 0.005$ , PERMANOVA). 보의 유·무에 따라 총 출현 종수, 총 출현 개체수, 종 풍부도와 같은 요인들이 차이를 나타냈으며, 외래종, 고유종, 보호종 개체수의 경우 차이를 나타내지 않았다. SIMPER 분석을 통해서 어류군집 차이에 주로 기여하는 종을 분석한 결과 해당 차수의 하천에 우점적으로 나타나는 피라미(*Zacco platypus*), 참갈겨니(*Zacco koreanus*), 돌고기(*Pungtungia herzi*)와 같은 보편종으로 확인되었다(contribution > 5%). 이들 종은 모두 보가 있는 지점에서 평균 상대풍부도가 높게 나타났으며, 보로 인해 변화된 환경이 이들 종에 대해서 주요 서식처를 제공하는 것으로 판단되었다. 본 연구는 전국 범위에서 보가 어류군집에 미치는 영향을 분석하여 경향성을 제시하였으며, 이러한 결과는 향후 보의 관리를 위한 연구에 효과적으로 활용할 수 있을 것이다.

**저자정보** 김정희(주식회사 에코리서치 대표이사), 윤주덕(국립생태원 멸종위기종복원센터 책임연구원), 박상현(주식회사 에코리서치 선임연구원, 목포대학교 해양수산자원학과 박사과정), 백승호(주식회사 에코리서치 선임연구원), 이혜진(국립환경과학원 환경연구사), 김규진(공주대학교 생물교육과 박사과정), 장민호(공주대학교 생물교육과 교수)

**저자기여도** 개념설정: 김정희, 장민호, 조사 및 채집: 김정희, 윤주덕, 박상현, 백승호, 김규진 자료분석: 김정희, 이혜진, 원고작성: 김정희

**이해관계** 본 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음.

**연구비** 본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER-2019-04-02-050).

## REFERENCES

- Anderson, M.J., R.N. Gorley and K.R. Clarke. 2008. PERMANOVA + for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods. PRIMER-E, Plymouth, UK.
- Brown, J.J., J. Perillo, T.J. Kwak and R.J. Horwitz. 2005. Implications of *Pylodictis olivaris* (flathead catfish) introduction into the Delaware and Susquehanna drainages. *Northeastern Naturalist* **12**: 473-484.
- Cha, S.B., J.U. Seong, J.O. Kim and J.C. Park. 2015. Evaluation

- of fish migration ratio at the fishway constructed in weir. *Journal of Environmental Science International* **24**: 229-236. (in Korean)
- Cumming, G.S. 2004. The impact of low-head dams on fish species richness in Wisconsin USA. *Ecological Applications* **14**: 1495-1506.
- Doyle, M.W., E.H. Stanley, C.H. Orr, A.R. Selle, S.A. Sethi and J.M. Harbor. 2005. Stream ecosystem response to small dam removal: lessons from the Heartland. *Geomorphology* **71**: 227-244.
- Eitzmann, J.L. and C.P. Paukert. 2010. Longitudinal differences in habitat complexity and fish assemblage structure of a Great Plains River. *The American Midland Naturalist* **163**: 14-32.
- Fagerlund, U.H.M., J.R. McBride and E.T. Stone. 1981. Stress-related effects of hatchery rearing density on coho salmon. *Transactions of the American Fisheries Society* **110**: 644-649.
- Gorman, O.T. and J.R. Karr. 1978. Habitat structure and stream fish communities. *Ecology* **59**: 507-515.
- Helms, B.S., E.E. Hartfield, D.C. Werneke, J.W. Feminella and M.M. Gangloff. 2011. The influence of low-head dams on fish assemblages in streams across Alabama. *Journal of the North American Benthological Society* **30**: 1095-1106.
- Holcomb, J.M., R.B. Nichols and M.M. Gangloff. 2016. Effects of small dam condition and drainage on stream fish community structure. *Ecology of Freshwater Fish* **25**: 553-564.
- Horwitz, R.J. 1978. Temporal variability patterns and the distributional patterns of stream fishes. *Ecological Monographs* **48**: 307-321.
- Im, D., H. Kang, K.H. Kim and S.U. Choi. 2011. Changes of river morphology and physical fish habitat following weir removal. *Ecological Engineering* **37**: 883-892.
- Islam, M.S. and M. Tanaka. 2004. Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin* **48**: 624-649.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. Freshwater Fish of Korea, Kyo-Hak Publishing, Seoul, Korea.
- Langeani, F., L. Casatti, H.S. Gameiro, A.B.D. Carmo and D.D.C. Rossa-Feres. 2005. Riffle and pool fish communities in a large stream of southeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology* **3**: 305-311.
- Lee, J.W., J.H. Kim, S.H. Park, K.R. Choi, H.J. Lee, J.D. Yoon and M.H. Jang. 2013. Impact of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) on the population of Korean native fish, crucian carp (*Carassius auratus*). *Korean Journal of Environmental Biology* **31**: 370-375. (in Korean)
- Lucas, M.C., D.H. Bubb, M.H. Jang, K. Ha and J.E.G. Masters. 2009. Availability of and access to critical habitats in regulated rivers: effects of low-head barriers on threatened lampreys. *Freshwater Biology* **54**: 621-634.
- Margalef, R. 1958. Information Theory in Ecology. *General Systematics* **3**: 36-71.
- Marion, C.A., M.C. Scott and K.M. Kubach. 2012. Fish community response to dam removal in Twelvemile Creek, Pickens County, South Carolina. *In*: Extended Abstract. 2012. South Carolina Water Resources Conference, Columbia Metropolitan Convention Center, USA.
- Matthews, W.J. and H.W. Robison. 1988. The distribution of the fishes of Arkansas: a multivariate analysis. *Copeia* **1988**: 358-374.
- McCormick, M.A. 2012. Effects of small dams on freshwater bivalve assemblages in North Carolina piedmont and coastal plain streams. Doctoral Thesis. Appalachian State University, Boone, NC, USA.
- Miranda, R., J. Oscoz, P.M. Leunda, C. García-Fresca and M.C. Escala. 2005. Effects of weir construction on fish population structure in the River Erro (North of Spain). *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* **41**: 7-13.
- MOE/NIER. 2008. The Survey and Evaluation of Aquatic Ecosystem Health in Korea. The Ministry of Environment/National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea.
- Nelson, J.S., T.C. Grande and M.V. Wilson. 2016. Fishes of the World. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Penczak, T. and A. Kruk. 2000. Threatened obligatory riverine fishes in human-modified Polish rivers. *Ecology of Freshwater Fish* **9**: 109-117.
- Penczak, T. and R.H.K. Mann. 1990. The impact of stream order on fish populations in the Pilica Drainage Basin, Poland. *Polskie Archiwum. Hydrobiologii* **38**: 243-261.
- Peter, A. 1998. Interruption of the river continuum by barriers and the consequences for migratory fish. *In*: Jungwirth, M., S. Schmutz and S. Weiss (eds), Fish Migration and Fish Bypasses, Fishing News Books, Oxford, UK.
- Poff, N.L., J.D. Allan, M.B. Bain, J.R. Karr, K.L. Prestegard, B.D. Richter, R.E. Sparks and C. Stromberg. 1997. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. *BioScience* **47**: 769-784.
- Porto, L.M., R.L. McLaughlin and D.L.G. Noakes. 1999. Low-head barrier dams restrict the movements of fishes in two Lake Ontario streams. *North American Journal of Fisheries Management* **19**: 1028-1036.
- Poulet, N. 2007. Impact of weirs on fish communities in a piedmont stream. *River Research and Applications* **23**: 1038-1047.
- Schlosser, I.J. 1990. Environmental variation, life history attributes, and community structure in stream fishes: implications for environmental management and assessment. *Environmental Management* **14**: 621-628.
- Singer, E.E. and M.M. Gangloff. 2011. Effects of a small dam on freshwater mussel growth in an Alabama (USA) stream. *Freshwater Biology* **56**: 1904-1915.
- Strahler, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*

- 38: 913-920.
- Thoni, R., J. Holcomb, R. Nichols and M.M. Gangloff. 2014. Effects of small dams on sunfish (Perciformes: Centrarchidae) assemblages in North Carolina piedmont and coastal plain streams. *Transactions of the American Fisheries Society* **143**: 97-103.
- Yoon, J.D., J.H. Kim, M.S. Byeon, H.J. Yang, J.Y. Park, J.H. Shim and M.H. Jang. 2011. Distribution patterns of fish communities with respect to environmental gradients in Korean streams. *Annales de Limnologie - International journal of Limnology* **47**: 63-71.