

# 국내 4대강 수계 하천의 보 밀도에 따른 어류 출현종 분석

## Appearance of Fish Species Based on the Weir's Density in the Four River Systems in Korea

문운기<sup>1</sup>, 노다혜<sup>2,3</sup>, 유재상<sup>4</sup>, 임오영<sup>2</sup>, 김명철<sup>5</sup>, 김지혜<sup>6</sup>, 이정민<sup>6</sup>, 김재구<sup>7\*</sup>

<sup>1</sup>(주)엔솔파트너스 책임연구원, <sup>2</sup>(주)엔솔파트너스 연구원, <sup>3</sup>충남대학교 생물교육학 석사, <sup>4</sup>(주)엔솔파트너스 상무, <sup>5</sup>(주)SOKN생태보전연구소 연구소장, <sup>6</sup>영산강유역환경청 유역계획과 전문위원, <sup>7</sup>(주)엔솔파트너스 기업부설연구소장

Woon Ki Moon<sup>1</sup>, Da Hye Noh<sup>2,3</sup>, Jae Sang Yoo<sup>4</sup>, O Young Lim<sup>2</sup>, Myoung Chul Kim<sup>5</sup>, Ji Hye Kim<sup>6</sup>, Jeong Min Lee<sup>6</sup> and Jai Ku Kim<sup>7\*</sup>

<sup>1</sup>Senior Researcher, Department of Environmental Ecology, Environment Solution Partners, Co., Gyeonggi 14348, Korea

<sup>2</sup>Researcher, Department of Environmental Ecology, Environment Solution Partners, Co., Gyeonggi 14348, Korea

<sup>3</sup>Master, Department of Biology Education, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea

<sup>4</sup>Director, Department of Environmental Ecology, Environment Solution Partners, Co., Gyeonggi 14348, Korea

<sup>5</sup>President, SOKN Institute of Ecology and Conservation, Inc., Gyeonggi 12563, Korea

<sup>6</sup>Technical Expert, Watershed Planning Division, Yeongsan River Basin Environmental Office, Gwangju 61945, Korea

<sup>7</sup>Research Director, Department of Environmental Ecology, Environment Solution Partners, Co., Gyeonggi 14348, Korea

Received 10 March 2022, revised 31 May 2022, accepted 08 June 2022, published online 30 June 2022

**ABSTRACT:** It was confirmed that the fish diversity decreased with increasing index of weir's density (IWD) in the four river systems. The IWD showed difference with watershed, it was high in the Nakdong River (NDR). Both two river systems of Gum River (GUR) and Yeongsan River (YSR) were similar, whereas relatively lower density observed in the Han River (HNR) system. A result of 2-Dimensional Kolmogorov-Smirnov (2-DKS) as a nonparametric test showed different threshold values affecting fish diversity with the river systems. The p-values based on  $D_{max}$  were significantly different at 0.05 level (except for YSR). The threshold values affecting fish diversity were also different with watershed. The values were 1.6/km of the HNR, 1.3/km of the NDR, and 2.3/km of the GUR, respectively. The fish diversity was decreased when IWD is over threshold values. The IWD of total 404 rivers (about 33%) among 1,217 surveyed in this study showed above threshold value. These rivers should be considered first for evaluating river continuity. The IWD and threshold value suggested in this study would be useful for selecting a stream priority for river connectivity study.

**KEYWORDS:** 2-DKS, Connectivity of aquatic ecosystems, Four river systems, Index of weir's density (IWD), River connectivity,

**요약:** 4대강 수계 하천에 설치된 보 밀도는 어류의 종 다양성에 영향을 주는 요인임을 확인하였다. 보 밀도 지수는 수계별로 차이를 보였으며, 낙동강 수계하천이 가장 높게 나타났으며 (17±1.6), 금강 (1.5±1.3)과 영산강(1.4±1.1)은 비슷하게 나타났다. 반면, 한강 수계하천(1.3±1.2)에서는 보 밀도가 낮게 나타났다. 2-DKS 분석 결과 영산강 수계를 제외하고  $D_{max}$ 에 따른 p-value는 0.05 이하로서 어류의 출현종수는 보 밀도에 의존하는 것으로 나타났다. 어류 종 다양성에 영향을 주는 보 밀도 역치값 (Threshold value)은 수계별로 다르게 나타났으며, 한강수계 1.6개/km, 낙동강 수계 1.3개/km, 금강수계 2.3개/km 이상에서 어류 출현종수는

\*Corresponding author: jaikim86@gmail.com, ORCID 0000-0001-6268-7045

© 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.

감소하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 조사한 총 1,217개 하천 가운데 33%인 약 404개 하천의 보 밀도 지수가 역치값 이상인 것으로 나타났다. 이러한 하천은 수생태계 연속성 확보가 시급하기 때문에 우선 대상 하천으로 선정하여 역치값 이하로 보 밀도를 관리할 필요가 있다.

**핵심어:** 보 밀도 지수, 하천 연결성, 수생태계 연속성, 4대강 수계, 2-DKS

## 1. 서론

하천에 설치된 인공구조물인 소규모 댐과 보 (weir) 등은 대부분 농업용수, 생활용수, 축산용수 등 용수 확보와 홍수 조절, 가뭄 대비를 위한 목적으로 설치되고 있다. 그러나, 하천구간 내에 설치된 댐/보는 하도 형태를 바꾸고, 물질 이동을 차단하며, 수 생태계를 단절시켜 생물서식지 및 다양성을 감소시키는 주요인으로 작용하고 있다. 국가어도정보시스템(NFIS, [www.fishway.go.kr](http://www.fishway.go.kr))에 따르면 2020년 전국의 지방하천에 설치된 보 구조물은 공식적으로 약 33,913개 분포하고 있으며, 이는 하천 연장을 고려할 때 약 1.3개/km가 설치된 것이다. 그러나, 소하천까지 포함하면 정확하게 몇 개의 보 구조물이 설치되었는지 파악이 불가능한 상황이다. 따라서, 국내 뿐 아니라 전 세계적으로 수생태계 연속성 확보를 위해 하천에 설치된 인공구조물인 댐과 보의 철거를 위한 노력을 기울이고 있다.

미국의 하천 현황을 파악할 수 있는 American rivers ([www.americanrivers.org](http://www.americanrivers.org)) 자료에 따르면 미국 전역에는 약 200만개의 소규모 댐/보가 있으며, 이중 80% 이상이 경제적 사용 연한을 초과하여 주 정부 차원에서 구조물 철거계획을 수립하고 있는 상태이다. 지난 30년간 약 1,476개의 보 구조물이 철거되었고, 2019년 한 해 동안 26개주에서 90여개의 하천구조물이 철거되었다 (American Rivers et al. 1999, ASCE 1997, The Heinz Center 2002). 유럽공동체 (EU)의 Amber project에 따르면 유럽 전역에는 약 180만개 이상의 하천구조물이 존재하는 것으로 추정하고 있으며, 독일과 프랑스 등 13개국에서 약 23만개의 구조물을 조사하고 목록화하여 관리하고 있다. 각국에서는 보 철거를 총괄하는 기구를 설치하여 지난 25년간 대규모 댐을 포함하여 약 4,500개 횡구조물을 철거하였고, 이를 통해 수질 및 경관 개선효과, 회유성 어류 및 다양한 어류 이동통로 확보, 어류 산란장 및 서식지 확보, 생물다양성 증가에 크게 기여하고 있다. 이러한 개선사례는 다수의 연구를 통해서 입증되고 있다 (Bushaw-Newton et al. 2001,

Cowx and Welcomme 1998, Giller and Malmqvist 1998, Hart et al. 2001, Horwitz et al. 2001, Johnson et al. 2001, Maitland and Morgan 1997, Shuman 1995, Smith et al. 2000).

국내의 대표적인 댐/보 철거 사례는 지난 2006년 곡릉천 곡릉2보와 울산 태화강 방사보, 전주천의 덕진보 등이 철거를 통해 수질 및 수생태계 개선 효과 및 멸종 위기생물의 서식지가 확대되는 결과를 보고하고 있다 (Ahn et al. 2008, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT) 2007). 국내의 경우에도 매년 50여개 이상의 보에 대한 용도가 사라지고 있고, 대략 2 - 3,000여개의 용도를 상실한 하천 구조물이 방치되어 있어 이에 대한 현황조사와 지속적인 철거 사업이 필요한 상황이다 (KICT 2020).

지난 2018년 물환경보전법 개정안을 통해 주무 부서인 환경부는 수생태계 연속성 확보를 위한 법적 근거와 조사지침을 마련하였다 (National Institute of Environmental Research (NIER) 2020). 이에 대한 효율적 업무를 수행하기 위해선 먼저 우선순위에 따라 연속성 확보가 시급한 대상 하천을 선정하는 일이다. 그러나, 대부분 농업용수 확보를 위해 설치된 보나 댐 등은 용도가 있는 경우 연속성 확보를 위해 강제로 철거하기에는 어려움이 있다. 따라서, 하천의 용수확보에 지장이 없고 연속성 확보를 통해 개선효과가 뚜렷한 하천을 우선적으로 선정하는 것이 반드시 선행되어야 할 것이다. 우선 대상 하천을 선정하기 위해서 과학적 근거를 바탕으로 합리적 기준설정이 중요하며, 하천의 보 밀도 지수는 수생태계 영향을 주는 중요한 지표로 활용할 수 있다.

본 연구에서는 우선 대상하천 선정을 위한 기초자료를 확보하는 측면에서 수계의 특성에 따른 보 밀도 (Density of weir) 현황을 조사하고, 어류 출현 종간의 관계를 통해 횡 구조물이 종 다양도에 미치는 영향 등을 파악하였다. 이러한 결과는 향후 수생태계 연속성 확보를 위한 대상하천 선정과 보 구조물 철거 또는 개선을 위한 범위를 설정하는데 유용한 지표가 될 수 있을 것으로 판단된다.

**Table 1.** Number of rivers investigated in each river basin

River system	River basins
Han River (HNR)	Gyeongcheon (28), Namhangang-upstream (15), Namhangang-downstream (77), Dalcheon (33), Seomgang (26), Soyanggang (15), Uiam-dam (18), Inbukcheon (6), Cheongpyeong-dam (25), Chuncheon-dam (23), Chungju-dam (32), Chungju-dam-downstream (10), Pyeongchanggang (24), Hangang-goyang (30), Hangang-jamsil (31), Hangang-downstream (1), Hantangang (31), Hongcheongang (30)
Nakdong River (NDR)	Gamcheon (14), Gumi-weir (1), Kumhogan (40), Nakdonggang-estuary weir (19), Nakdong-goryeong (11), Nakdong-miryang (30), Nakdong-sangju (2), Nakdong-waegwan (19), Nakdong-changnyeong (15), Namgang (40), Namgang-dam (62), Naeseongcheon (21), Miryanggang (27), Byeongseongcheon (8), Andong-dam (20), Andong-dam-downstream (14), Yeonggang (11), Wicheon (17), Imha-dam (29), Hapcheon-dam (26), Hwanggang (12), Hoecheon (15)
Gum River (GUR)	Gabcheon (12), Geumgang-gongju (57), Geumgang-western sea (8), Geumgang-estuary weir (13), Nonsancheon (17), Deacheung-dam (10), Deacheung-dam-upstream (2), Deacheung-dam-downstream (2), Mujunamdaechon (7), Mihocheon (17), Bocheongcheon (9), Yeongdongcheon (14), Yongdam-dam (18), Yongdam-dam-downstream (3), Chogang (12)
Yeongsan River (YSR)	Gomakwoncheon (11), Yeongamcheon (7), Hwangyonggang (16), Jiseokcheon (30), Yeongsangang-estuary weir (2), Yeongsangang-upstream (21), Yeongsangang-midstream (9), Yeongsangang-downstream (12)

( ) : Number of rivers investigated.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 자료 수집

#### 2.1.1 하천 자료

국내 하천 현황에 대한 조사는 하천관리지리정보시스템 (RIMGIS)을 활용하여 수계별로 포함된 대상 지류하천을 먼저 선정하였으며, 각 지류하천의 기점과 종점부를 연결하는 하천연장 (km)을 파악하였다. 생물측정망이 운영되고 있는 국내 4대강 수계를 대상으로 자료를 수집하여 총 64개 중권역 1,217개 지방하천에 대한 하천연장과 보 개수자료를 확보하였다. 이는 국내 전체 지방하천의 약 32.3%에 해당한다 (Table 1).

#### 2.1.2 보 현황 자료

각 하천의 보 현황자료는 해양수산부에서 운영하는 국가어도정보시스템 (NFIS, [www.fishway.go.kr](http://www.fishway.go.kr)) 자료를 활용 (2020년 자료 업데이트)하여 4대강 수계 64개 중권역에 포함된 1,217개 지방하천에 대한 보 개수 및 분포현황을 파악하였다.

#### 2.1.3 수 생태계 자료

하천의 수생태계 자료는 물환경정보시스템 (NIER, <http://water.nier.go.kr>) 생물측정망 자료를 활용하여 분석하였다. 지난 2010년부터 2019년까지 과거 10년간 축

적된 어류 건강성 평가 자료를 기반으로 하천 각 지점에서 출현 종수를 확인하였다. 한 개 하천에서 조사지점이 2개 이상인 경우 통합하여 출현 종수를 산정하였다.

### 2.2 자료 분석

#### 2.2.1 보 밀도 지수 (Index of Weir's Density, IWD)

하천별 보 밀도 지수는 하천연장 대비 보 개수로서 산정하였고, 이는 하천 km당 보 개수를 의미한다. 수계별 보 밀도는 하천별 보 밀도를 평균하여 표시하였다.

$$\text{보 밀도 지수 (DWI)} = \text{보 개수} / \text{하천연장 (km)} \quad (\text{Eq. 1})$$

#### 2.2.2 통계 처리

각 수계별 평균 보 밀도는 1차 분산분석 (One-way ANOVA)를 실시하여 비교하였다. 수계별로  $\alpha$ 값 0.05 수준에서 유의적인 차이를 보이는 경우 사후검정 (Post-hoc test)을 통해 집단간 차이를 분석하였다. 사후분석은 Levene's 통계량을 기반으로 분산값 (Variance)의 동질성 여부를 판단한 후 검정기법을 적용하였다.

또한, 각 수계별 보 밀도에 따른 어류 출현종간의 관계는 2-Dimensional Kolmogorov-Smirnov (2-DKS) 테스트를 수행하였다 (Garvey et al. 1998). 비모수 테스트 (Nonparametric test)인 2-DKS는 두 변수간의 독립적 분포 여부를 판단하는 통계적 방법으로 실제 데이

터와 독립적으로 분포하는 데이터간 최대 차이가 일어나는 역치값 (Threshold value)과 통계값  $D_{max}$ 를 제공한다. 이때 생성되는 p-value는 실제 통계 데이터를 5,000회 무작위 재조합을 통해 생성된 통계 분포와 비교하여 생성된다 (Garvey et al. 1998).

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 각 수계별 보 현황

각 수계별 보 현황은 전국 4대강 수계 1,217개 지방하천에 분포하고 있는 14,561개 보를 대상으로 분석하였다 (Table 1). 한강수계 조사는 18개 중권역에 포함된 455개 지방하천을 대상으로 하였으며, 총 길이는 약 4,905 km였고, 횡 구조물인 보 개수는 약 4,587개가 분포하는 것으로 파악되었다. 낙동강 수계는 23개 중권역에 포함된 453개 지방하천을 대상으로 하였고, 하천의 총 길이는 약 4,786 km였으며, 보 개수는 약 6,266개로 파악되었다. 금강수계의 경우 15개 중권역에 포함된 210개 하천을 대상으로 하였고, 하천의 총 길이는 약 2,123 km였으며, 보 개수는 2,625개가 분포하고 있는 것으로 파악되었다. 영산강 수계는 8개 중권역에 포함된 108개 지방하천을 대상으로 하였고, 하천의 총 길이는 약 857 km, 보 구조물은 약 1,083개가 확인되었다 (Table 2).

#### 3.2 수계별 보 밀도분포

각 수계별 하천연장 대비 보 밀도를 비교해 보면, 한강 수계 하천의 경우 1.3개/km, 낙동강 수계는 1.7개/km, 금강 수계는 1.5개/km, 영산강 수계는 1.4개/km로 분석되었으며, 각 수계별 평균 보 밀도는 유의적인 차이를 보였다 ( $F_{3, 1213}=6.424, p < 0.0001$ ). 사후검정 (Bonferroni test) 결과 수계별 보 밀도는 크게 2개 그룹으로 구분되었다. 낙동강, 영산강, 금강 수계에서 보 밀도는 비슷하였으나, 한강 수계 하천에서 보 밀도가 가장 낮게 나타났다 (Table 3). 수계별로 차이를 보이는 것은 유역내 토지이용과 농경지 면적비, 그 외 농업용수 사용량 등과 관련이 있을 것으로 추정된다. 국가수자원종합정보시스템 (WAMIS, www.wamis.go.kr)에 따르면 보 밀도가 낮은 한강 수계의 경우 유역내 논/밭 경작지의 비율이 약 16.1%였으며, 보 밀도가 낙동강 수

**Table 2.** The number of rivers and river basins investigated. The distribution of weir was counted by National Fishway Information System (NFIS) website

Watersheds	No. of river Basin	No. of rieviers Targeted	Total river length (km)	No. of weir
HNR	18	455	4,905	4,587
NDR	23	453	4,786	6,266
GUR	15	201	2,123	2,625
YSR	8	108	857	1,083
Total	64	1,217	12,671	14,561

www.fishway.go.kr.

**Table 3.** Average index of weir's density (IWD) and proportion of paddy and dry fields in the watershed of the the four major rivers, Korea

River Systems	IWD per km $\pm$ SD	Proportion of paddy and dry fields in the watershed (%)
HNR	1.3 $\pm$ 1.2	16.1
NDR	1.7 $\pm$ 1.6	22.7
GUR	1.5 $\pm$ 1.3	27.2
YSR	1.4 $\pm$ 1.1	38.5

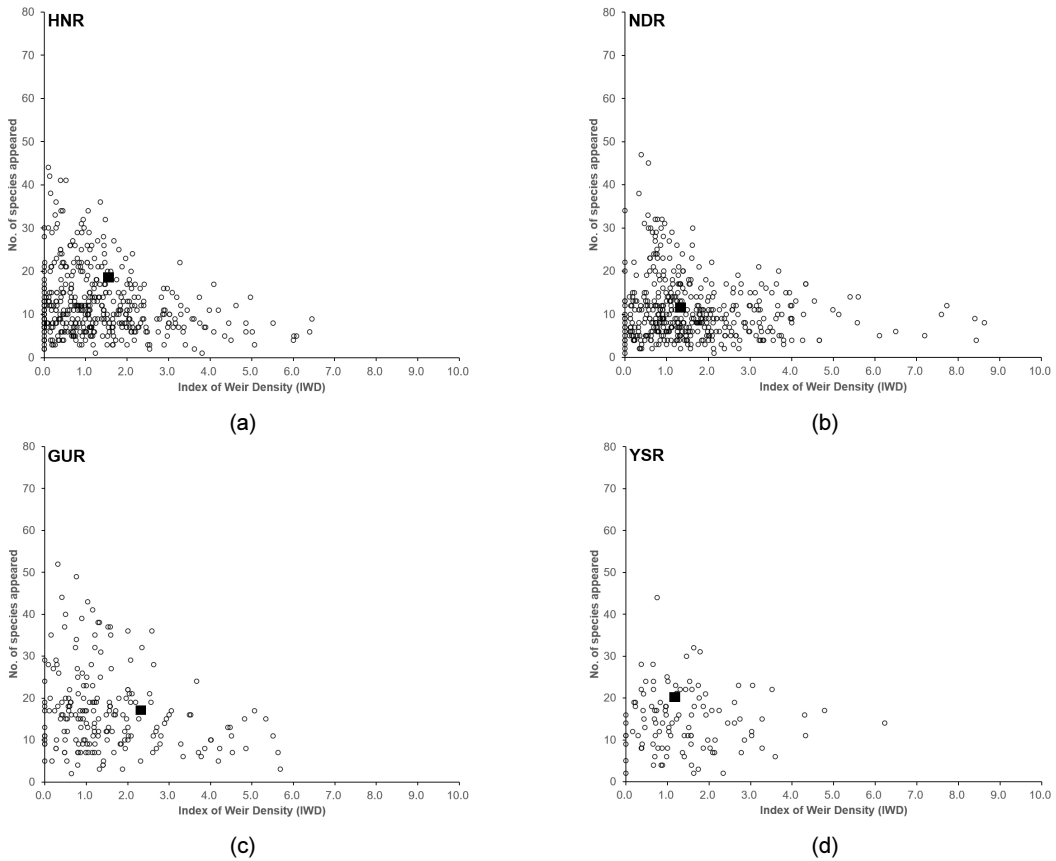
계 22.7%, 금강 수계 27.2%, 그리고 영산강 수계 38.5%로 한강 수계에 비해 약 2배 이상 높은 것으로 나타났다 (Table 3).

#### 3.3 2-DKS 분석

보 밀도 대비 어류 출현 종수 관계를 비교한 결과 전체적으로 보 밀도 증가에 따라 하천에서 어류의 출현 종수는 지수 함수적 감소 (Exponential decline) 하는 경향을 보였으며, 이는 하천내 보 밀도가 증가하면서 어류의 출현 종수는 감소하는 것을 의미한다 (Fig. 1).

2-DKS 분석 결과 한강 ( $D_{max} = 0.040$ ), 낙동강 ( $D_{max} = 0.037$ ), 금강 ( $D_{max} = 0.040$ ) 수계에서는 어류의 출현 종수는 보 밀도 지표에 의존하는 분포패턴을 보였으나 ( $p \leq 0.05$ ), 반면 영산강 수계 하천에서는 어류 출현 종수는 보 밀도와 독립적인 관련성을 가지는 것으로 나타났다 ( $D_{max} = 0.038, p = 0.65$ ) (Table 4).

보 밀도 지표와 출현 종수 간에 최대 차이를 보이는 역치값 (Threshold value)은 수계별로 차이가 나타났다. 한강의 경우 보 밀도 1.6/km 이상시 출현종은 18종



**Fig. 1.** Analysis of distribution pattern between index of weir's density (IWD) and number of species appeared in Han River (a), Nakdong River (b), Gum River (c) and Yeongsan River (d). Squares closed of each graph indicated threshold value where the maximum difference between actual data and independently-distributed data set occurs, created by 2-Dimensional Kolmogorov-Smirnov (2DKS) analysis.

**Table 4.**  $D_{max}$  and p-value based on 2-Dimensional Kolmogorov-Smirnov (2DKS) test

Watersheds	$D_{max}$	p-value	Threshold value	
			X	Y
HNR	0.040	0.01	1.6	18
NDR	0.037	0.02	1.3	12
GUR	0.049	0.05	2.3	17
YSR*	0.038	0.65	1.2	20

\*Not significantly different

**Table 5.** Number of rivers showing above threshold level for each river system

River systems	N	No. of over threshold value (%)
HNR	455	145 (32%)
NDR	453	218 (48%)
GUR	108	41 (20%)
YSR*	201	-

\*Not calculated threshold value

이하로 감소하였고, 낙동강 수계에서는 보 밀도 1.3/km 이상에서 어류 출현종수는 12종 이하로 감소하는 것으로 나타났다. 금강수계에서는 보 밀도 2.3/km 이상에서 17종 이하로 급감하였다. 반면, 영산강 수계에서 보 밀도 역치값은 1.2/km였으나, 어류 출현 종수에는 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다 (Table 4).

### 3.4 수계별 각 하천의 보 밀도 현황

수계별로 각 하천에서 역치값 이상의 보 밀도를 가지고 있는 하천은 전체 1,217개 조사대상 하천 가운데 약 33.0%인 404개 하천으로 조사되었다. 영산강 수계 하천에서는 역치값 이상을 보이는 하천은 없었으며, 역치값 이상의 하천들은 높은 보 밀도에 따라 어류의 종 다

수계별로 살펴보면, 한강 수계의 경우 조사대상 하천 455개 중 약 32%인 145개 하천에서 보 밀도가 1.6개/km 이상인 것으로 나타났다. 낙동강 수계의 경우 총 453개 조사대상 하천 중 약 48%인 218개 하천에서 보 밀도가 1.3개/km을 초과하는 것으로 나타났다. 금강 수계에서는 201개 조사대상 하천 가운데 약 20%인 41개 하천에서 보 밀도가 2.3개/km를 초과하는 것으로 나타났다. 반면, 영산강 수계 108개 하천에서는 역치값 이상의 보 밀도를 가진 하천은 없는 것으로 나타났다. 역치값 이상을 보이는 하천들은 보로 인해 수생태계 영향이 예상되기에 연속성 확보를 위해 우선 대상 하천으로 선정하여 보 밀도를 관리할 필요가 있다.

#### 4. 결론

4대강 수계 하천에 설치된 보 밀도는 어류의 종 다양성에 영향을 주는 요인임을 확인하였다. 보 밀도 지수는 수계별로 차이를 보였으며, 낙동강 수계 하천에서 높게 나타났고, 금강과 영산강 수계에서는 비슷하였으나, 한강 수계 하천에서 보 밀도가 낮게 나타났다. 이는 유역내 토지이용과 농업용수 사용량 등과 관련이 있을 것으로 추정된다. 보 밀도 대비 어류 출현 종수 관계를 비교한 결과 전체적으로 보 밀도 증가에 따라 하천에서 어류의 출현 종수는 지수 함수적 감소(Exponential decay)하는 경향을 보였으며, 2-DKS 분석 결과 영산강 수계를 제외하고  $D_{max}$ 에 따른 p-value는 0.05 이하로서 어류의 출현 종수는 보 밀도에 의존하는 것으로 나타났다. 어류 종 다양성에 영향을 주는 보 밀도 역치값(Threshold value)은 수계별로 다르게 나타났으며, 한강 수계 1.6개/km, 낙동강 수계 1.3개/km, 금강 수계 2.3개/km 이상에서 어류 출현 종수는 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 조사한 총 1,217개 하천 가운데 33%인 약 404개 하천의 보 밀도 지수가 역치값 이상인 것으로 나타났다. 이러한 하천은 수생태계 연속성 확보가 시급하기 때문에 우선 대상 하천으로 선정하여 역치값 이하로 보 밀도를 관리할 필요가 있다

#### 감사의 글

본 연구는 2020 - 2021년도 영산강, 섬진강 수계 환경 기초조사사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

#### References

- Ahn, H.K., Woo, H.S., Rhee, K.S., and Kim, K.H. 2008. Stream Eco-corridor restoration by out-aged small dam removal-Focused on Gokreung River Gokreung 2 small dam removal-. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 11(2): 40-54 (in Korean)
- American Rivers, Friends of Earth and Trout Unlimited. 1999. Dam removal success stories.
- American Society of Civil Engineers. 1997. Guidelines for retirement of dams and hydroelectric facilities. ASCE, New York.
- Bushaw-Newton, K.L., Ashley, J.T., Boettner, A.R., DeAlteris, J., Kiry, P., Kreeger, D.A., Raksany, D., and Velinsky, D.J. 2001. The Manatawny Creek Dam removal: Bio-geochemical processes and sediment contaminants. Bulletin of the North American Benthological Society 18: 172
- Cowx, I.G. and Welcomme, R.L. 1998. Rehabilitation of Rivers for Fish. Fishing News Books. Oxford, UK.
- Garvey, J.E., Marshall, E.A., and Wright, R.A. 1998. From star charts to stoneflies: Detecting relationships in continuous bivariate data. Ecology 79(2): 442-447.
- Giller, P.S. and Malmqvist, B. 1998. The biology of stream and rivers. Oxford university press. Oxford, UK. pp. 296
- Hart, D.D., Johnson, T.E., Bushaw-Newton, K.L., Horwitz, R.J., Bednarek, A.T., Charles, D.F., Kreeger, D.A., and Velinsky, D.J. 2001. Dam removal: challenges and opportunities for ecological research and river restoration." Bio Science 52: 669-681.
- Horwitz, R.J., Overbeck, P., Perillo J., and Bushaw-Newton, K.L. 2001. Effects on fish populations of removal of a dam on Manatawny Creek (Schuylkill River drainage, Pottstown, Pennsylvania). Paper presented at the Annual Meeting of the American Fisheries Society 19-23, August 2001 Phoenix, AZ.
- Johnson, T.E., Pizzuto, J., Egan, J., Bushaw-Newton, K.L., Hart, D., Lawrence, J., and Lynch, E. 2001. The Manatawny Creek Dam removal: Project overview and geomorphic characteristics. Bulletin of the North American Benthological Society 18:121-122.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT). 2007. The Stream Eco-corridor Restoration and Water Quality Improvement by Weir Removal with Its Function Lost, Ministry of Environment (in Korean).
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT). 2020. Investigation of Disposed Weirs Managed by Local Government (in Korean).
- Maitland, P.S. and Morgan, N.C. 1997. Conservation Management of Freshwater Habitats. Chapman & Hall, London.
- National Institute of Environmental Research (NIER). 2020. Guideline for Ecological Connectivity and Eva-

- luation Method in Aquatic Ecosystem. Ministry of Environment (in Korean).
- Shuman, J.R. 1995. Environmental considerations for assessing dam removal alternatives for river restoration. *Regulated rivers: Research and management*. 11: 249-261.
- Smith, L.W., Dittmer, E., Prevost M. and Burt D.R. 2000. Breaching of a small irrigation dam in Oregon: A case history. *North American Journal of Fisheries Mangement* 20: 205-219.
- The Heinz Center. 2002. *Dam removal: Science and decision making*. The Heinz Center, Washington, D.C.