

## 연곡천 송림보에서 어도의 개선에 따른 어류 종 조성 변화

윤영진<sup>1,2</sup>, 김지윤<sup>2</sup>, 김혜진<sup>2</sup>, 배대열<sup>1</sup>, 박구성<sup>3</sup>, 남창동<sup>3</sup>, 임경훈<sup>3</sup>, 이문용<sup>3</sup>, 이승용<sup>3</sup>, 문경도<sup>3</sup>, 이의행<sup>3</sup>, 안광국<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>(주)한국생태네트워크, <sup>2</sup>충남대학교 생명시스템과학대학 생명과학과, <sup>3</sup>한국농어촌공사

## Changes in fish species composition after fishway improvement in Songrim weir, Yeongok stream

Young-Jin Yun<sup>1,2</sup>, Ji Yoon Kim<sup>2</sup>, Hye-Jin Kim<sup>2</sup>, Dae-Yeol Bae<sup>1</sup>, Gu Seong Park<sup>3</sup>, Chang Dong Nam<sup>3</sup>, Kyung Hun Lim<sup>3</sup>, Moon-Yong Lee<sup>3</sup>, Seong-Yong Lee<sup>3</sup>, Kyeong-Do Moon<sup>3</sup>, Eui-Haeng Lee<sup>3</sup> and Kwang-Guk An<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Econet, Daejeon 34028, Republic of Korea

<sup>2</sup>Department of Biological Science, College of Bioscience and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

<sup>3</sup>Korea Rural Community Corporation, Naju 58327, Republic of Korea

### \*Corresponding author

Kwang-Guk An  
Tel. 042-821-6408  
E-mail. [kgan@cnu.ac.kr](mailto:kgan@cnu.ac.kr)

Received: 6 November 2020

Revised: 1 June 2021

Revision accepted: 7 June 2021

**Abstract:** In 2020, South Korea initiated research and development of a longitudinal connectivity evaluation between upstream and downstream based on stream ecosystem health. This study analyzed the migration of upstream and downstream migratory fish species, fish distribution characteristics, trophic guilds, tolerance guilds, and species composition changes from 2015 to 2020 at Songrim weir in Yeongok stream, where the cross-structure of an ice harbor-type fishway for fish movement was recently improved. A total of 5,136 fish, including 36 species, were collected and three major migratory fishes were identified, namely, *Tribolodon hakonensis*, *Plecoglossus altivelis altivelis*, and *Oncorhynchus keta*. According to the comparative analysis before (Pre-I) and after (Post-I) improvement of the fishway, the relative abundance of primary freshwater fish increased in the upstream section, while the number of migratory fishes decreased. The fish species that used the fishway in the Songrim weir were *Tribolodon hakonensis* (58.4%) and *Plecoglossus altivelis altivelis* (11.8%). According to the Wilcoxon Signed-Rank Test migratory fish showed a statistically significant difference ( $p < 0.05$ ) in the upstream and downstream, showing a biological improvement effect of the cross-structure. On the other hand, the annual change of migratory fish based on the Mann-Kendall trend test did not significantly increase or decrease ( $p > 0.05$ ). Therefore, in the fish passage improvement project, it is necessary not only for physical, hydrological, and structural tests, but also for pre- and post-biological tests on the use and improvement effect of fishway.

**Keywords:** stream, weir, fishway, migratory fish

## 서 론

하천은 집수역을 기준으로 형성되며, 상류하천(Headwater)부터 연안으로 유입되는 하구(River mouth)까지의 종적연결성은 어류를 비롯한 수서생물의 서식특성을 반영한다(Vannote *et al.* 1980; Curtis *et al.* 2018). 그러나 지난 수십 년 동안 용수의 이용을 목적으로 댐이나 보(weir)와 같은 횡단구조물을 건설함으로써 물리적인 단절은 수서생물상의 단절로 이어지게 되었으며, 이러한 종적 단절은 수생태계에 많은 악영향을 초래하였다. 특히 어류는 회유성 어류의 이동단절(Mallen-Cooper and Brand 2007; Ferguson *et al.* 2011), 횡단구조물 건설 및 준설에 따른 서식지교란(Santos *et al.* 2006; Habit *et al.* 2007; Freedman 2010; Mueller *et al.* 2011) 등을 야기시키고 있다.

하천생태계에서 어도의 유무는 회유성 어류를 비롯한 담수어의 자원 확보 차원에서 매우 중요하며, 적정기준에 의해 만들어지 어도는 어류의 서식지와 산란지의 확장을 통해 잠재적 내수면 어류 자원을 증대시키기 때문에(Moon *et al.* 2020), 횡단구조물에 있어서 어도는 어류군집에 대하여 매우 중요한 통로역할을 하고 있다(Bunt *et al.* 2012; Pennock *et al.* 2017). 이러한 하천의 종적 단절을 완화시키기 위해 국내에서는 어도 설치의 의무조항을 마련하였다. 내수면어업법에서는 보다 직접적인 의미에서 어도의 정의(내수면어업법 제2조), 어도 관리에 대한 종합적인 프레임워크 구축(내수면어업법 제19조의2~제19조의7)을 함의하고 있으며, 이외에도 포괄적인 의미의 생태통로로서 정의 및 기본방침(자연환경보전법 제2조, 제6조), 생태통로의 설치(자연환경보전법 제45조), 생태통로의 조사(자연환경보전법 제45조의2) 등을 제시하여 수생태계의 연속성 확보에 대한 직·간접적인 법적 근거가 마련된 실정이다.

국내에 분포하는 어도는 구조적으로 크게 풀형식, 수로형식, 조작형식, 기타형식으로 분류된다(MLTMA 2009). 이러한 어도는 2020년 기준 총 5,393개소가 분포하고 있으며, 이 가운데 표준형 어도는 3,254개소로 도벽식(1,482개소)과 계단식(1,071개소), 그 외 아이스하버식(573개소), 버티컬슬롯식(128개소)의 순으로 분포하고 있다(www.fishway.go.kr). 한강과 낙동강을 포함한 4대강 보에 분포하는 어도는 대부분이 자연형 어도 또는 아이스하버식 어도가 분포하고 있어 종적 단절 완화를 도모코자 하였다. 그러나 4대강으로 유입되는 중소하천 및 독립수계 하

천의 어도가 설치되지 않거나 어도로서의 기능이 불량인 경우가 많아 생물학적인 단절의 원인이 되는 것으로 나타나 개선 방안 마련이 요구되는 상황이다.

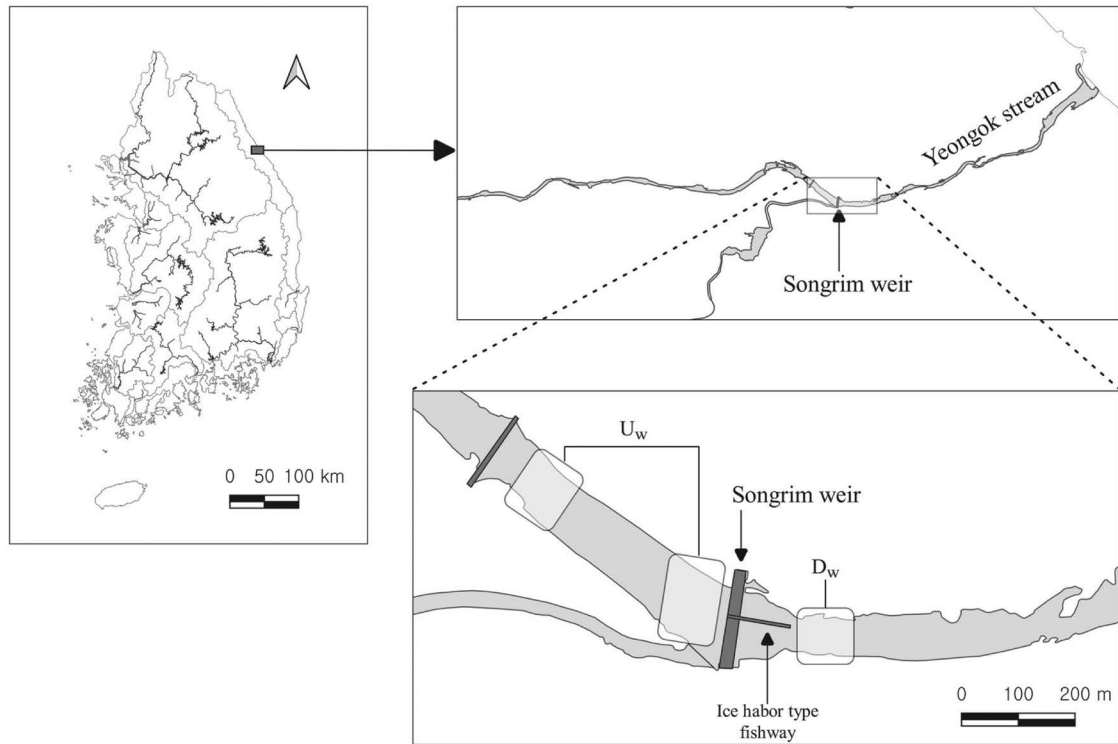
국내에서 어도의 설치 이후 어류 이동 효율에 관한 연구는 어도의 구조적 개선 혹은 유량의 증가/감소를 조작, 어류의 생태특성 반응이 요구되어야 한다고 공통적으로 주장하고 있다. 금강의 자연형 어도에서 연구한 결과에 따르면 시기별, 시간대별로 유의한 차이를 보였으나, 어도 내 낮은 수심 및 적은 유량 등 어도의 구조적인 문제로 대형 어종은 어도를 거의 이용하지 않은 것으로 나타나 유인수 및 유량조건 개선 등이 필요하다고 보고하였다(Kim *et al.* 2015). 금강의 아이스하버식 어도에 대한 연구에서는 상류수위와 어도이용 개체수에 대한 양의 상관성을 보고하였다(Lee *et al.* 2015). 영산강의 아이스하버식 어도에 대한 연구에서는 안정적인 유량이 요구되어야 보다 다양한 어종들이 이용할 것이라고 보고하였다(Han *et al.* 2012). 그러나 상기 보고된 연구들은 회유성 어류가 없거나 매우 드물게 분포하고 있어 이에 대한 추가적인 연구 및 개선 방안 마련이 필요하다.

본 연구대상지인 연곡천은 동해 유입하천으로, 황어(*Tribolodon hakonensis*), 연어(*Oncorhynchus keta*), 은어(*Plecoglossus altivelis altivelis*) 등 다양한 회유성 어류가 관찰된다(Kim *et al.* 2006). 또한 유역 내 점오염/비점오염원에 대한 인위적이고 하천 외부적인 영향은 매우 적은 반면, 하천 내 보와 같은 횡단구조물과 어도시설물이 하천 상하류 구간에 걸쳐 연속적으로 형성되어 있어 종적 연결 혹은 단절에 대한 생물학적인 개선여부를 파악할 수 있는 중요한 단서로서 활용될 수 있다. 본 연구의 목적은 연곡천의 송림보를 중심으로 1) 어도 개선 이전과 어도 개선 이후의 종 조성 변화를 비교·분석하였으며, 2) 어도 개선 이후 보 상류와 하류 구간에 대한 어류 종 조성의 분석, 3) 어도 개선 이후 어도의 효율, 4) 어도 개선 이후 상류/하류 구간 및 어도에 대한 연별 분석을 통해 생물학적 개선 효과를 살펴보고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지점 및 조사시기

연곡천의 유로연장은 25.8 km로 서해 유입하천에 비해 매우 짧은 동해 유입하천의 특성을 보이고 있으며, 수온은



**Fig. 1.** Map showing the Songgrim weir and ice harbor-type fishway in Yeongok stream. Fish assemblages and data from upstream of weir ( $U_w$ ), downstream of weir ( $D_w$ ), and trap installed on a fishway.

최고 22°C를 넘지 않아 냉수성 어류 및 회유성 어류의 적합한 서식 조건이라 보고된 바 있다(Kim *et al.* 2006).

본 연구는 강원도 강릉시에 위치한 연곡천 하류의 송림보(N: 37°50'48", E: 128°48'10")를 대상으로 하였으며, 송림보의 상류구간(Upstream of weir,  $U_w$ )과 하류구간(Downstream of weir,  $D_w$ ), 그리고 아이스하버식 어도의 트랩으로 대별하여 조사하였다(Fig. 1).

송림보는 연곡천의 하구와 약 5.3 km 이격되어 위치하고 있으며, 황어, 연어, 은어와 같은 회유성 어류가 가장 먼저 마주하는 첫 번째 횡단구조물이다. 2015년 송림보의 수로식, 계단식, 그리고 도벽식 어도를 아이스하버식 어도로 개선하였으며, 현재 아이스하버식 어도를 비롯한 양측면에 수로식 어도가 2개소 분포하고 있으며, 아이스하버식 어도 좌측과 우측에는 버티컬슬롯식 어도가 2개소 분포하여 총 5개소가 설치되었다. 기능이 양호한 어도는 최근에 개선이 이루어진 아이스하버식 어도이며, 회유성 어류뿐만 아니라 다양한 어류의 조성 변화 등 생물학적인 개선 여부를 확인할 수 있을 것으로 판단된다.

송림보에서 어류의 조사시기는 회유성 어류의 출현 시

기를 반영하였다. 황어의 소상시기인 봄철 조사(3~5월, 1차 조사), 은어의 서식시기인 여름철 조사(6~7월, 2차 조사), 가을철 조사는 은어 하강시기인 9~10월(3차 조사)과 연어 소상시기인 10~11월 조사(4차 조사)로 구분하였다. 송림보 상/하류구간의 조사는 2015년부터 2020년까지 수행되었으며, 2020년의 조사는 봄과 가을철 조사로 2회만 수행되었다. 어도 내 트랩을 이용한 조사는 2015년 4차부터 2019년 3차까지 수행되었다.

아이스하버식 어도의 개선 이전(Pre-fishway improvement, Pre-I)은 2015년 1~2차, 어도 개선 이후(Post-fishway improvement, Post-I)의 시기는 2015년 3차~2020년 2차의 범위로 각각 대별하였다.

## 2. 어류의 현장조사

어류의 조사는 MOE/NIER(2017)에서 제시된 '보 구간'에 대한 조사방법을 준용하여 실시하였다. 어류 채집에 이용된 어구는 투망(망목: 7×7mm)과 족대(망목: 4×4mm)이며, 다양한 유속과 수심의 구배를 반영할 수 있는 급류

대(Riffle), 정체대(Pool), 완류대(Run)의 서식환경을 대상으로 채집하였다.

어도 내 조사는 출구부에 트랩을 설치하여 어류를 포획하는 방법으로 수행하였다. 아이스하버식 어도에서 어류가 월류부와 잠공부를 통해 상류로 이동한다는 점을 반영하기 위해 충분한 규격(가로×세로×높이: 1×1×1 m, 망목: 4×4 mm)으로 제작된 트랩을 이용하였다. 트랩은 24시간 설치하였으며, 이후 트랩 내 포획된 어류를 수거하였다.

채집된 어류는 Kim *et al.* (2005), Han *et al.* (2015), Chae *et al.* (2019)에 의거하여 현장에서 동정을 실시한 다음 현장에 방류하였으며, 현장에서 동정이 어려운 개체의 경우에는 용적 대비 10% 포르말린 용액에 고정된 다음 실험실로 운반한 후 동정하였다. 종의 동정 이후에는 종별 개체수를 기록하였다.

### 3. 어류의 생태길드 분석

본 연구에 적용된 생태길드는 크게 섭식길드와 내성길드 2개의 범주이며, MOE/NIER (2017)의 내용을 참고하였다. 섭식길드는 어류의 다양한 영양단계를 반영하여 초식종(Herbivore), 충식종(Insectivore), 잡식종(Omnivore), 육식종(Carnivore)으로 구분하였으며, 이러한 식성의 분류는 주요섭식원(Ohio EPA 2015)을 기준으로 분류된다. 연어 성체의 경우 육식종에 해당되지만, 연어 치어는 먹이원 분석에 대한 보고를 근거로 충식종으로 분류하였다(Kang *et al.* 2007). 내성길드의 범주는 US EPA (1993)에 의거하여 민감종(Sensitive species), 중간종(Intermediate species), 내성종(Tolerant species)으로 대별된다. 어류의 내성길드는 하천의 수질 및 저질 각각의 농도, 축적량 등에 따라 오염도가 매우 낮고, 양호한 환경에서 민감종이 우세한 경향을 보이며, 내성종은 수체 내 각종 오염에도 불구하고, 풍부하게 나타나는 경향을 보인다.

### 4. 통계 분석

송림보 상류/하류구간 및 어도 트랩 자료는 어류의 상대풍부도를 기반으로 분석하였으며, 조사차수별 자료와 연별자료를 대상으로 하였다. 조사차수별 자료는 일차당 수어, 회유성 어류, 황어와 연어 등 회유성 어종, 내성도길드, 섭식길드로 구분하여 보 상류구간과 하류구간에 대

한 비모수적 통계방법인 Wilcoxon signed rank test를 이용하였다. 어류의 연별자료는 황어와 연어 등 회유성 어종의 생활사, 즉 소상시기/비소상시기에 대한 전체를 반영하기 위함이며, 연별 자료를 통해 유의한 증가 또는 감소 경향을 알아보기 위해 Mann-Kendall trend test를 이용하였다. 본 연구에서 실시된 모든 통계 분석은 R program (ver 4.0.5) (R core team 2021)에서 이루어졌으며, Mann-Kendall trend test는 R program의 trend package의 mk.test 함수를 이용하여 수행하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 송림보 일대의 어류상

연구기간 동안 송림보 상·하류를 조사한 결과 총 13과 36종 5,136개체가 채집되었다(Table 1). 전체 출현한 어종 중 Cyprinidae가 17종(47.2%)으로 가장 다양한 종이 확인되었으며, 그 다음으로 Cobitidae, Gobiidae는 각각 3종(8.3%), Gasterosteidae, Salmonidae, Amblycipitidae는 각각 2종(5.6%), Balitoridae, Osmeridae, Centrachidae, Centropomidae, Cottidae, Siluridae, Petromyzontidae는 각각 1종(2.8%)이었다. 또한 Cyprinidae에서 3,662개체, 71.30%로 우세하게 나타났다.

송림보 구간에서 채집된 전체 어류 중 우점종은 피라미(*Zacco platypus*, 29.09%)이며, 아우점종은 납자루(*Tanakia lanceolata*, 24.47%)이었다. 그 외 은어(*P. altivelis altivelis*, 7.89%), 돌고기(*Pungtugia herzi*, 6.78%) 등의 순으로 확인되었다. 이 중 송림보 일대에 분포하는 회유성 어류의 상대풍부도는 13% 이상인 것으로 나타났다.

연곡천에서 추가적인 이입이 추정되는 주요 어종은 납자루, 참중고기(*Sarcocheilichthys variegatus wakiyae*), 모래무지(*Pseudogobio esocinus*), 통가리(*Liobagrus andersoni*) 4종이며, 이들 4종은 연곡천 중·하류를 대상으로 한 연구결과를 대조함으로써 확인할 수 있었다(Kim *et al.* 2006; Byeon and Oh 2015). 납자루, 참중고기, 모래무지의 경우 서·남해안으로 유입되는 하천 전반에 걸쳐 분포하는 종으로, 주로 하천 중류와 하류에 서식하며, 동해로 유입되는 연곡천은 과거 지리적인 격리로 인해 상기 출현종은 서식이 확인되지 않았다. 본 연구에서 상기 종들이 새롭게 확인되어 지속적인 변화 관찰이 요구된다.

**Table 1.** Fish species compositions in Songrim weir where surveyed D<sub>w</sub> (downstream of weir) and U<sub>w</sub> (upstream of weir). Pre-I indicates before ice harbor-type fishway improvement, and Post-I indicates after ice harbor-type fishway improvement.

Scientific name	D <sub>w</sub>				U <sub>w</sub>				Total	R.A. (%)	Remarks	Tol. G.	Troph. G.
	Pre-I	R.A. (%)	Post-I	R.A. (%)	Pre-I	R.A. (%)	Post-I	R.A. (%)					
Balitoridae													
<i>Orthrias toni</i>			4	0.16			8	0.33	12	0.23	Pf	SS	I
Cobitidae													
<i>Iksookimia pacifica</i>	14	10.77	60	2.45	4	3.81	46	1.87	124	2.41	Pf	IS	I
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>			1	0.04					1	0.02	Pf	SS	O
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>							7	0.29	7	0.14	Pf	TS	O
Cyprinidae													
<i>Tanania lanceolata</i>			583	23.83			674	27.47	1,257	24.47	Pf	IS	O
<i>Carassius auratus</i>			44	1.80			12	0.49	56	1.09	Pf	TS	O
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	1	0.77	6	0.25	1	0.95	2	0.08	10	0.19	Pf	SS	I
<i>Cyprinus carpio</i>			3	0.12					3	0.06	Pf	TS	O
<i>Ladislavia taczanowskii</i>			3	0.12			3	0.12	6	0.12	Pf	SS	H
<i>Pseudogobio esocinus</i>			24	0.98			49	2.00	73	1.42	Pf	IS	I
<i>Pseudorasbora parva</i>	3	2.31	4	0.16			4	0.16	11	0.21	Pf	TS	O
<i>Pungtungia herzi</i>	1	0.77	124	5.07	1	0.95	222	9.05	348	6.78	Pf	IS	I
<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>							1	0.04	1	0.02	Pf	SS	I
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>			30	1.23			49	2.00	79	1.54	Pf	SS	I
<i>Rhynchocypris steindachneri</i>	13	10.00	2	0.08			21	0.86	36	0.70	Pf	SS	I
<i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i>			1	0.04			1	0.04	2	0.04	Pf	IS	I
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>			1	0.04			20	0.81	21	0.41	Pf	IS	I
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>			1	0.04					1	0.02	Pf	IS	O
<i>Tribolodon hakonensis</i>	3	2.31	101	4.13			44	1.79	148	2.88	An	IS	O
<i>Zacco koreanus</i>			30	1.23	4	3.81	82	3.34	116	2.26	Pf	SS	I
<i>Zacco platypus</i>	41	31.54	658	26.89	39	37.14	756	30.81	1,494	29.09	Pf	IS	O
Gasterosteidae													
<i>Pungitius kaibarae</i>	1	0.77	22	0.90	6	5.71	65	2.65	94	1.83		IS	I
<i>Pungitius sinensis</i>			13	0.53			30	1.22	43	0.84	En	IS	I
Osmeridae													
<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>	33	25.38	212	8.66	33	31.43	127	5.18	405	7.89	Am	IS	H
Centrarchidae													
<i>Micropterus salmoides</i>			114	4.66	11	10.48	7	0.29	132	2.57	Ex	TS	C
Centropomidae													
<i>Coreoperca herzi</i>							1	0.04	1	0.02	Pf	SS	C
Gobiidae													
<i>Gymnogobius urotaenia</i>	12	9.23	123	5.03	4	3.81	91	3.71	230	4.48		IS	I
<i>Rhinogobius brunneus</i>	2	1.54	131	5.35			83	3.38	216	4.21		IS	I
<i>Tridentiger brevispinis</i>	5	3.85	1	0.04	1	0.95	22	0.90	29	0.56		IS	I
Salmonidae													
<i>Oncorhynchus keta</i> (Adult)			34	1.39			6	0.24	40	0.78	An	SS	C
<i>Oncorhynchus keta</i> (Fry)			95	3.88					95	1.85	An	SS	I
<i>Oncorhynchus masou masou</i>			1	0.04	1	0.95			2	0.04	An	SS	C
Cottidae													
<i>Cottus hangiongensis</i>	1	0.77	15	0.61			1	0.04	17	0.33	Am, En	SS	I
Amblycipitidae													
<i>Liobagrus andersoni</i>			1	0.04			18	0.73	19	0.37	Pf	SS	I
<i>Liobagrus mediadiposalis</i>							1	0.04	1	0.02	Pf	SS	I
Siluridae													
<i>Silurus asotus</i>			4	0.16			1	0.04	5	0.10	Pf	TS	C
Petromyzontidae													
<i>Lethenteron japonicus</i>			1	0.04					1	0.02	An, En	IS	O
Total number of Individuals	130	100.00	2,447	100.00	105	100.00	2,454	100.00	5,136	100.00			
Total number of species	13		32		11		31		36				

R.A.: Relative Abundance, Tol. G: Tolerance Guild, TS: Tolerant Species, IS: Intermediate Species, SS: Sensitive Species, Troph. G: Trophic Guild, O: Omnivore, I: Insectivore, C: Carnivore, H: Herbivore, Pf: Primary Freshwater Fish, An: Anadromous Fish, Am: Amphidromous Fish, En: Endangered Species, Ex: Exotic Species

**Table 2.** Summary of relative abundance with migration type, migratory fish species, tolerance guild, and trophic guild in D<sub>w</sub> (downstream of weir) and U<sub>w</sub> (upstream of weir). Pre-I (pre-fishway improvement) and Post-I (post-fishway improvement) data are provided as mean and standard deviation (SD).

Category	Relative abundance (%)	D <sub>w</sub>		U <sub>w</sub>	
		Pre-I (n=2)	Post-I (n=19)	Pre-I (n=2)	Post-I (n=19)
Migration type	Primary freshwater fish	56.1	55.9±24.3	46.5	73.5±17.6
	Migratory fish	28.4	24.8±20.8	32.5	13.5±15.2
Migratory fish species	<i>T. hakonensis</i>	2.3	3.4±5.5	–	2.2±3.8
	<i>P. altivelis altivelis</i>	25.3	12.0±15.9	31.6	8.1±11.4
	<i>O. keta</i>	–	8.7±18.8	–	3.1±11.2
	<i>O. masou masou</i>	–	0.03±0.11	1.0	–
	<i>C. hangiongensis</i>	0.7	0.5±1.4	–	0.02±0.09
	<i>L. japonicus</i>	–	0.02±0.08	–	–
Tolerance guild	Sensitive species	11.6	8.2±13.7	5.7	9.6±13.3
	Inetermediate species	85.9	81.4±19.9	83.9	88.8±12.8
	Tolerant species	2.3	5.9±12.5	10.3	1.5±2.3
Trophic guild	Insectivore	38.7	27.6±18.9	20.1	31.0±23.8
	Herbivore	25.3	12.1±15.9	31.6	8.1±11.4
	Omnivore	35.8	48.1±26.7	36.9	57.0±25.6
	Carnivore	–	7.7±17.6	11.3	3.7±11.3

생태계교란 생물은 배스(*Micropterus salmoides*) 1종이 본 연구에서 조사되었다. 배스는 호소와 하천의 정체수역에 주로 서식하며, 먹이생물에 대한 포식성이 강하여 생태계의 균형을 교란시키는 종이다(Lee et al. 2013; Park et al. 2019). 연곡천의 경우 대부분 흐름이 있는 수환경이 양호한 하천으로 배스가 크게 우점할 수 없는 환경이지만(Kim et al. 2013), 적절한 수계 내 관리가 필요할 것으로 판단된다.

법정보호종은 환경부 지정 멸종위기야생생물 II급으로 지정된 가시고기(*Pungitius sinensis*), 한독중개(*Cottus hangiongensis*), 칠성장어(*Lethenteron japonicus*)로 총 3종의 서식이 송림보 일대에서 확인되었다. 가시고기는 상류(U<sub>w</sub>) 30개체 하류(D<sub>w</sub>) 13개체, 한독중개는 상류 1개체, 하류 16개체, 칠성장어는 하류에서 1개체가 확인되었다. 한독중개는 하천 하류의 자갈과 큰돌로 구성된 하상의 여울에서 서식하는 종으로, 일부 개체는 송림보에 조성된 어도를 이용하여 보 상류구간으로 이동하여 서식하는 것으로 나타났다(Ko et al. 2018). 가시고기는 동해 유입 하천의 중·하류 구간 중 흐름이 느린 지역에서 주로 서식하는 종으로서, 최근 서식환경의 급격한 감소로 이에 대한 평가가

이루어진 바 있다(Ko 2016). 송림보를 중심으로 조사한 본 연구결과 가시고기의 상대풍부도는 0.84%로 희소하게 서식하는 것으로 나타났으며, 이와 관련된 이전 연구에서도 급격한 감소가 확인된 바 있어, 이에 대한 지속적인 보전 대책이 요구된다(Kim et al. 2006; Ko 2016). 칠성장어는 연곡천을 포함한 양양 남대천, 고성 배봉천에서 희소하게 분포하는 것으로 알려져 있으며(NIBR 2014), 본 연구에서는 2020년 송림보 하류에서 1개체가 분포하는 것으로 나타났다.

## 2. 송림보 어도 개선 이전/이후 종 조성의 변화

송림보 상류구간(U<sub>w</sub>)과 하류구간(D<sub>w</sub>)에서 어도 개선 이전(Pre-I)과 이후(Post-I)에 대한 어류의 상대풍부도 변화는 Table 2와 같다. 일차담수어의 상대풍부도의 평균 값은 하류에서 큰 변화가 없었으나(Pre-I: 56.1%, Post-I: 55.9%), 상류에서는 약 1.5배 증가하였다(Pre-I: 46.5%, Post-I: 73.5%). 반면 회유성 어류의 상대풍부도는 상류(Pre-I: 32.5%, Post-I: 13.5%)와 하류(Pre-I: 28.4%, Post-I: 24.8%) 모두 감소하였다(Table 2).

회유성 어종의 상대풍부도를 살펴보면, 황어는 어도 개선 이후 상류(Pre-I: -, Post-I: 2.2%)와 하류(Pre-I: 2.3%, Post-I: 3.4%) 모두 증가하였으나 은어는 상류(Pre-I: 31.6%, Post-I: 8.1%)와 하류(Pre-I: 25.3%, Post-I: 12.0%) 모두 감소한 것으로 나타났다. 연어의 경우 어도 개선 이전에는 봄과 여름철에 조사가 이루어져 계절적인 특성으로 인해 출현하지 않았으나, 어도 개선 이후에는 상류(Post-I: 3.1%)와 하류(Post-I: 8.7%) 모두 출현하였다. 한독중개의 경우 어도 개선에 따른 상류(Pre-I: -, Post-I: 0.02%)에서 서식이 확인되었으나 희소하게 분포하였다. 그 외 산천어 (*Oncorhynchus masou masou*)와 칠성장어는 보 상류 또는 하류에서 희소하게 분포하는 것으로 나타나 증가 및 감소에 대한 뚜렷한 경향성을 보이지 않았다(Table 2).

어류의 내성도길드의 상대풍부도를 살펴보면 중간층은 상류(Pre-I: 83.9%, Post-I: 88.8%)와 하류(Pre-I: 85.9%, Post-I: 81.4%) 모두 우세하게 분포하는 것으로 나타났으며, 섭식길드의 상대풍부도에서 잡식종이 상류(Pre-I: 36.9%, Post-I: 57.0%)와 하류(Pre-I: 35.8%, Post-I: 48.1%)에서 증가하는 양상을 보였다.

### 3. 어도 개선 이후(Post-I)의 어류 종 조성

송림보 아이스하버식 어도의 개선 이후(Post-I) 상류( $U_w$ )와 하류( $D_w$ )에 대한 어류 종 조성의 차이는 다음과 같다(Table 2, Fig. 2). 비모수적 검정인 wilcoxon signed rank test를 송림보 상류와 하류를 대상으로 어류의 상대풍부도를 이용해 분석한 결과, 일차담수어와 회유성 어류에 대한 유의한 차이를 보여( $p < 0.05$ ) 생물학적인 개선 효과를 보인 것으로 분석되었다(Table 3). 회유성 어류의 상대풍부도는 상류에서 평균 13.5%, 하류에서 평균 24.8%로 약 0.54배의 차이를 보여 어도에 의한 개선 효과로 나타났다.

회유성 어종인 연어에 대해 상류와 하류 간 유의한 차이를 보여주었지만( $p < 0.05$ ), 어도를 통한 생물학적 개선 여부를 단정지을 수 없었다. 연어는 9월부터 11월까지 산란을 위해 소상하고, 이후 3~4월에는 모천에서 치어로 확인된다(Chae *et al.* 2019). 본 연구에서 연어의 경우 가을철 조사에서 트랩에 포획된 개체와 보 상류에서 연어 성체의 출현이 확인되었으나, 산란 이후 봄철 조사에서 보 상류는 연어 치어가 채집되지 않은 반면, 보 하류에서만 연어 치어가 확인되어 어도 개선에 따른 상류구간에 대한 생활사

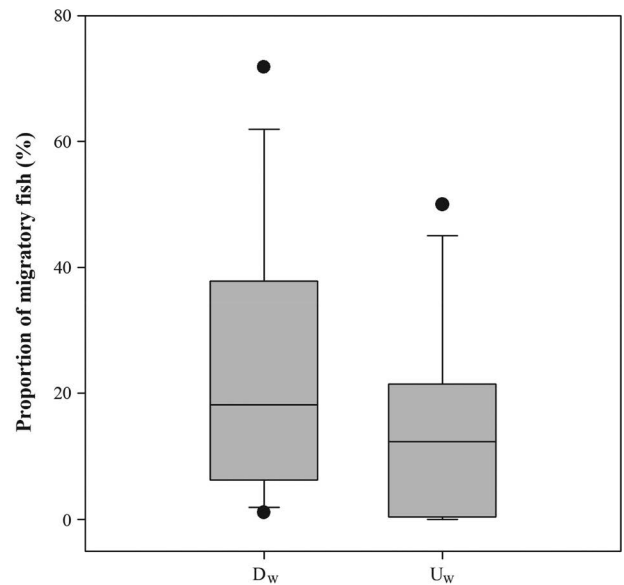


Fig. 2. Proportion of migratory fish (%) between  $D_w$  (downstream of weir) and  $U_w$  (upstream of weir).

가 반영되지 않은 결과로 판단된다(Table 1). 이러한 요인은 송림보 하류에서 연어 성체의 소상기간동안 포획망에 의한 소상개체의 감소 뿐만 아니라 높은 수온 조건 및 대량으로 회귀하는 하천에 비해 연곡천은 비교적 짧고 급한 경사를 보여 이동에 제한되는(Kim *et al.* 2020) 복합적인 요인으로 인한 결과로 판단된다.

주요 회유성 어종인 황어와 은어에 대한 유의한 차이는 나타나지 않아( $p > 0.05$ ), 생물학적인 개선 효과는 뚜렷하지 않았다. 이러한 회유성 어종은 출현 및 소상시기가 어종별로 다르게 나타난다. 황어는 4월에 산란을 위해 소상하며, 은어는 3~5월에 하천에 소상하여 성장한 이후 9~10월에는 하류 여울에 산란하는 습성이 있다(Chae *et al.* 2019). 이러한 소상시기의 차이로 회유성 어종에 대한 분석은 조사시기별 자료보다는 연별자료로 통합하여 비교·분석하는 것이 더욱 바람직할 것으로 사료된다.

일차담수어이자 우점종인 피라미, 어류의 내성도길드와 섭식길드에서 보 상류와 하류 간의 유의한 차이가 나타나지 않아( $p > 0.05$ ) 횡단구조물에 대한 생물학적 개선 여부와는 연관이 없는 것으로 나타났다. 하천의 수질 및 환경은 어류의 생태적 특성을 반영하는 지배적인 요인이며, 영양염의 농도가 낮고, 하상에 유기물이 거의 없는 맑은 하천에서 총식종과 민감종의 개체수 비율이 우세한 경향으로 나타나는 반면, 점오염원 및 비점오염원에 의한 영향이

**Table 3.** Nonparametric data analysis (Wilcoxon signed rank test) with fish migration type, fish species, tolerance guild, and trophic guild in post-fishway improvement (Post-I). An analysis comparison of the weir upstream (U<sub>w</sub>) and downstream (D<sub>w</sub>). Bold indicates significant level below 0.05.

Category	Relative abundance (%)	p-value	Remarks
Migration type	Primary freshwater fish	<b>0.018</b>	
	Migratory fish	<b>0.003</b>	
Migratory fish species	<i>Tribolodon hakonensis</i>	0.556	An
	<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>	0.103	Am
	<i>Oncorhynchus keta</i>	<b>0.044</b>	An
Primary freshwater fish species	<i>Zacco platypus</i>	0.418	Pf, 1st dominant sp.
Tolerance guild	Sensitive species	0.465	
	Intermediate species	0.798	
	Tolerant species	0.077	
Trophic guild	Insectivore	1.000	
	Herbivore	0.114	
	Omnivore	0.418	
	Carnivore	0.185	

An: Anadromous fish, Am: Amphidromous fish, Pf: Primary freshwater fish

**Table 4.** Fish assemblage of trap in post-fishway improvement (Post-I, 2015–2019).

Scientific name	2015	2016	2017	2018	2019	Total	R.A.(%)	Remarks
Cyprinidae								
<i>Pungtungia herzi</i>			8			8	1.14	Pf
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>				1		1	0.14	Pf
<i>Tribolodon hakonensis</i>		358		52	1	411	58.38	An
<i>Zacco koreanus</i>				1		1	0.14	Pf
<i>Zacco platypus</i>		29	103	38	13	183	25.99	Pf
Osmeridae								
<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>		3	40	14	26	83	11.79	Am
Gobiidae								
<i>Gymnogobius urotaenia</i>				1		1	0.14	
<i>Rhinogobius brunneus</i>				1		1	0.14	
Salmonidae								
<i>Oncorhynchus keta</i> (Adult)	3	1		8	2	14	1.99	An
Amblycipitidae								
<i>Liobagrus mediadiposalis</i>			1			1	0.14	Pf
Total number of Individuals	3	391	152	116	42	704	100.00	
Total number of species	1	4	4	8	4	10		

Pf: Primary Freshwater Fish, An: Anadromous Fish, Am: Amphidromous Fish

가중된 환경에서는 반대로 잡식종과 내성종의 개체수 비율이 증가하는 경향을 보인다(Choi et al. 2015). 본 연구지역은 보를 기준으로 상류와 하류를 대상으로 비교 분석하

였기에 다양한 하천의 점오염원/비점오염원 현황 및 변이를 반영할 수 없기 때문이다.



**Table 5.** Mann-Kendall trend test of annual fish assemblage data downstream of weir (D<sub>w</sub>), upstream of weir (U<sub>w</sub>), and trap. Data analysis performed in relative abundance.

Location	Relative abundance (%)	Range	Z value	p-value	Trend	Slope	Remarks
D <sub>w</sub>	Primary freshwater fish	51.3–77.2	0.376	0.707	-	0.013	
	Migratory fish	12.7–29.1	-0.751	0.452	-	-0.011	
	<i>Tribolodon hakonensis</i>	0.0–8.7	0.000	1.000	-	-0.002	An
	<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>	1–20.4	-0.376	0.707	-	-0.011	Am
	<i>Onchorynchus keta</i>	0.0–8.1	-0.376	0.707	-	-0.004	An
	<i>Zacco platypus</i>	21.7–41.7	-0.751	0.452	-	-0.039	Pf
U <sub>w</sub>	Primary freshwater fish	58.8–92.6	0.000	1.000	-	0.011	
	Migratory fish	4.9–20.3	-1.503	0.133	-	-0.022	
	<i>Tribolodon hakonensis</i>	0.0–3.1	0.574	0.566	-	0.002	An
	<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>	4.3–18.7	-1.127	0.259	-	-0.022	Am
	<i>Onchorynchus keta</i>	0.0–1.1	-0.902	0.367	-	-0.001	An
	<i>Zacco platypus</i>	10.3–67.3	-1.879	0.060	-	-0.084	Pf
Trap	Primary freshwater fish	7.4–73.7	0.000	1.000	-	0.031	
	Migratory fish	26.3–92.6	0.000	1.000	-	-0.033	
	<i>Tribolodon hakonensis</i>	0.0–91.6	-0.340	0.734	-	-0.223	An
	<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>	0.8–61.9	1.019	0.308	-	0.169	Am
	<i>Onchorynchus keta</i>	0.0–6.9	0.34	0.734	-	0.020	An
	<i>Zacco platypus</i>	7.4–67.8	0.000	1.000	-	0.036	Pf

Pf: Primary Freshwater Fish, An: Anadromous Fish, Am: Amphidromous Fish

#### 4. 송림보 어도 개선 이후 트랩의 어류상

송림보의 아이스하버식 어도의 개선 이후 (Post-I) 트랩을 이용하여 어류를 조사한 결과 총 5과 10종 704개체가 출현하였으며, 개선 이후 하류구간 (33종) 대비 출현종수 기준으로 30.3% 어종이 제한적으로 어도를 이용하는 것으로 나타났다 (Table 4). 송림보의 아이스하버식 어도는 대체로 체형비가 높고 유영능력이 좋은 (Moon *et al.* 2019) 황어, 피라미, 그리고 은어가 상대풍부도의 대부분을 차지한 것으로 나타났으나, 어도를 이용하는 연어의 상대풍부도는 2.0% 미만으로 연어가 아이스하버식 어도를 이용하기에는 월류부의 수심이 낮은 특성으로 판단된다. 따라서 연어의 이동에 적합한 어도의 추가 설치 및 개선이 요구된다.

어도를 이용하는 어류 중 피라미를 포함한 일차담수어는 194개체 (27.6%), 황어, 연어, 은어 등이 포함된 회유성 어류는 508개체 (72.2%)로 일차담수어보다는 하천과 바다를 오가는 회유성 어류의 이용이 더 많은 것으로 나타났다. 동해안 유입하천에 대한 연구결과에 따르면 양양남대천의 아이스하버식 어도에서는 16종으로 다양한 종이 출

현하였으나 회유성 어류의 상대풍부도는 36%이며, 송림보의 또 다른 어도인 버티컬슬롯식 어도에서는 9종으로 출현종수는 비슷하나 회유성 어류의 상대풍부도는 90% 이상으로 나타났다 (Kim *et al.* 2020). 그 외 다른 하천 유역인 한강 수계에서는 23~41종, 회유성 어류의 상대풍부도는 0.0~24.4% (Kim *et al.* 2020)이며, 금강 수계는 10~24종, 회유성 어류의 상대풍부도는 0.0~1.0% (Kim *et al.* 2010; Kim *et al.* 2015; Lee *et al.* 2015), 낙동강 수계는 19종, 회유성 어류의 상대풍부도는 0.0~17.6% (Kang *et al.* 2012; Kim *et al.* 2016)로 나타나 동해안 유입하천에서 회유성 어류의 어도 이용이 가장 높았다. 이러한 차이는 하천의 규모와 지리적 위치, 보와 어도의 형식, 하천 상·하류 간 보와 어도의 종적인 위치에 따라 다른 결과를 나타낼 수 있음을 보여주어, 회유성 어류를 이용한 종적 연결 혹은 단절에 대한 지표로서 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 5. 송림보 상류와 하류, 어도 트랩의 어류 종 조성의 연별 분석

송림보의 상/하류구간 및 트랩에서 어류의 상대풍부

도를 대상으로 연별분석을 실시하였다(Table 5). Mann-Kendall trend test를 이용한 연별 분석결과 회유성 어류를 비롯한 황어와 연어 등 회유성 어종에서 유의한 증가 및 감소 경향이 나타나지 않았으며( $p > 0.05$ ), 일차담수어, 우점종인 피라미에 대해 유의한 증가 혹은 감소 경향은 나타나지 않았다( $p > 0.05$ ). 이러한 결과는 2016년부터 2019년까지의 자료( $n=4$ )를 대상으로 분석하였기에 자료의 부족으로 판단된다. 따라서 어도 개선 이전과 개선 이후를 아우르는 장기간의 자료, 혹은 개선 이후에 대한 장기간의 자료의 마련이 어도 이용 분석에 도움을 줄 것으로 생각된다.

## 결 론

2015년부터 2020년까지 송림보 일대에서 장기간 어류 군집 및 종 조성의 변화를 관찰한 결과 아이스하버식 어도의 개선 이후 황어, 연어, 한독중개와 같은 회유성 어종이 상류에서 관찰되었다. 또한 어도 개선 이후 회유성 어류의 상대풍부도는 보 상류와 하류에 대하여 유의한 차이를 보였으며( $p < 0.05$ ), 하류대비 상류의 회유성 어류의 상대풍부도는 0.54배로 나타나 생물학적인 개선효과를 나타내었다.

국내 어도 설치 후 어류 이동에 대한 연구결과 공통적으로 어도시설물의 구조적 문제와 한계점 해결, 보/어도 시설물의 연계 운용에 따른 어도 효율성 증대 등 어도에 기능적 개선에 따라 다양한 어종들에 대한 이용률의 증대를 목표로 논의하였다. 연곡천의 송림보의 경우 보 하류구간 대비 출현종수를 기준으로 30.3%의 어종만이 어도를 이용하고 있어 비교적 낮은 이용효율을 보이는 것으로 나타났지만, 실제 어도 이용 어류 중 회유성 어류는 72.2%의 상대풍부도를 나타내어 높은 이용률을 보였으며, 하천 단위의 종적 연결 혹은 단절에 대한 지표로서 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

하천에서 횡단시설물인 보와 댐은 용수에 대한 관리 차원에서 중요한 역할을 하지만, 종적 단절을 야기하며, 특히 회유성 어류에 있어서는 서식지 및 산란지 축소로 이어질 수 있다. 이러한 차원에서 어도의 설치의 바람직함 것으로 판단되지만, 어도를 이용하는 어류의 특성을 반영하지 않는다면 생물학적 개선효과를 기대하기 힘들 것이다. 따라

서 횡단구조물의 이용빈도를 고려해 존치/제거 여부를 결정할 다음, 존치가 결정된다면 서식 어류 및 회유성 어류 이동에 적합한 어도를 설치하는 방향이 바람직 할 것으로 생각된다.

송림보에 대한 연구결과 어도의 개선 이전과 이후의 분석은 5년간의 장기데이터를 기반으로 수행되었지만, 실제로 어도의 개선 효과를 살펴보기 위해서 더 긴 시간의 데이터가 필요하였고, 통계처리 또한 불가능하였다. 어도에 대한 구조물 분석 및 수리모형 분석 이외에도 생물학적인 테스트는 실제 이동 및 서식하는 어류에 있어 장기변화를 대변할 수 있는 사전/사후 분석은 필수적이라고 생각되며, 이에 대한 적절한 법령 마련이 요구되는 것으로 사료되었다.

## 적 요

우리나라에서는 2020년에 생태계 건강성 측면에서 어류의 상하류 간 종적연결성 평가법에 대한 연구개발에 착수하였다. 본 연구는 최근 어류이동을 위한 아이스하버식 어도의 횡단구조물 개선이 이루어진 연곡천 송림보에서 2015~2020년 장기간 동안 보의 상하류 회유성 어종 이동성, 어류분포 특성, 섭식길드, 내성도 길드 및 종조성 변화를 분석하였다. 어류는 총 36종 5,136개체가 채집되었으며, 주요 회유성 어류는 황어(*Tribolodon hakonensis*), 은어(*Plecoglossus altivelis altivelis*), 연어(*Oncorhynchus keta*)로 3종이 확인되었다. 어도의 개선 이전(Pre-I)과 이후(Post-I) 비교분석에 따르면, 상류구간에서 일차담수어의 상대풍부도는 증가한 반면, 회유성 어종은 감소하였다. 송림보의 상/하류구간에서 어도(Fishway)를 이용하는 어류는 황어(58.4%), 은어(11.8%)로 나타났고, 상/하류 구간의 Wilcoxon Signed-Rank Test에 따르면, 회유성 어류는 통계학적으로 유의한 차이를 보여( $p < 0.05$ ), 횡단구조물에 대한 생물학적 개선효과를 보였다. 한편, Mann-Kendall trend test 기반의 회유성 어류의 연별 변화는 유의한 수준( $p > 0.05$ )의 증가 혹은 감소의 경향은 확인되지 않았다. 따라서 어도의 개선 사업 시에는 물리적, 수리수문학적, 구조적 테스트뿐만 아니라 사전 및 사후의 어도이용 및 개선 효과에 대한 생물학적 시험도 반드시 필요할 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원 수생태계 건강성 확보 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2020003050004).

## REFERENCES

- Bunt CM, T Castro-Santos and A Haro. 2012. Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration. *River Res. Appl.* 28:457-478.
- Byeon HK and JK Oh. 2015. Fluctuation of fish community and inhabiting status of introduced fish in Gangeungnamdae stream, Korea. *Korean J. Environ. Ecol.* 29:718-728.
- Chae BS, HB Song, JY Park, KH Jo, SJ Jo and IS Kim. 2019. A Field Guide to the Freshwater Fishes of Korea. LG Evergreen Foundation. Seoul.
- Choi JW, JH Han, CS Park, DG Ko, HI Kang, JY Kim, YJ Yun, HH Kwon and KG An. 2015. Nutrients and sestonic chlorophyll dynamics in Asian lotic ecosystems and ecological stream health in relation to land-use patterns and water chemistry. *Ecol. Eng.* 79:15-31.
- Curtis WJ, AE Gebhard and JS Perkin. 2018. The river continuum concept predicts prey assemblage structure for an insectivorous fish along a temperate riverscape. *Freshw. Sci.* 37:618-630.
- Ferguson JW, M Healy, P Dugan and C Barlow. 2011. Potential effects of dams on migratory Fish in the Mekong River: Lessons from salmon in the Fraser and Columbia Rivers. *Environ. Manage.* 47:141-159.
- Freedman JA. 2010. Dams, dredging, and darters: effects of anthropogenic disturbances on benthic fish ecology. Ph.D. dissertation. Pennsylvania State University. PA.
- Habit E, MC Belk and O Parra. 2007. Response of the riverine fish community to the construction and operation of a division hydropower plant in central Chile. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyt.* 17:37-49.
- Han JH, CS Park, JW An, KG An and WG Baek. 2015. A Guide Book of Freshwater Fishes, 1st ed. National Science Museum. Daejeon, Korea.
- Han JH, DG Ko, BJ Lim, JH Park and KG An. 2012. Summer patterns and diel variations of fish movements using fish trap sampling technique in the Juksan Weir. *J. Environ. Impact Assess.* 21:879-891.
- Kang EJ, H Yang, HH Lee, KS Kim and CH Kim. 2012. Characteristics of fish fauna collected from near estuaries bank and fish-way on the bank of Nakdong River. *Korean J. Ichthyol.* 24:201-219.
- Kang S, H Yang, CS Lee and SH Choi. 2007. Stomach contents of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) fingering in Namdae Stream. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 12:86-93.
- Kim BS, YW Jung, HK Jung, JM Park, CH Lee and CI Lee. 2020. Behavior patterns during upstream migration of chum salmon (*Oncorhynchus Keta*) in the lower reaches of Yeon-gok Stream in Eastern Korea. *J. Environ. Sci. Int.* 29:885-905.
- Kim CH, KE Hong, JH Kim and KH Kim. 2006. Ichthyofauna in Yeongok stream, Gangneung, Korea. *Korean J. Ichthyol.* 18:244-250.
- Kim DO, JC Park, JS Hwang, DS Kim, WO Lee and G Hwang. 2020. Fish fauna using fishway on six river in Korea. *Korean J. Ecol. Environ.* 53:255-264.
- Kim HM, JH Kil, EH Lee and KG An. 2013. Distribution characteristics of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) as an exotic species, in some medium-to-large size Korean reservoirs and physico-chemical water quality in the habitats. *Korean J. Limnol.* 46:541-550.
- Kim IS, Y Choi, CL Lee, YJ Lee, BJ Kim and JH Kim. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. 1st ed. Kyohak Publishing. Seoul.
- Kim JH, JD Yoon, SH Park, JW Lee, SH Baek and MH Jang. 2015. Characteristics of fish utilization of the nature-like fishway installed at the Baekje Weir. *Korean J. Ecol. Environ.* 48:212-218.
- Kim JH, JD Yoon, SH Baek, SH Park, JW Lee, JA Lee and MH Jang. 2016. An efficiency analysis of a Nature-like fishway for freshwater fish ascending a large Korean River. *Water* 8:3.
- Kim JO, KS Jang, HS Shin, H Yang and JH Jang. 2010. Ecological function assessment for a fishway of Geumgang estuary dike. *J. Korean Soc. Agric. Eng.* 52:1-7.
- Ko MH. 2016. Distribution status and threatened assessment of endangered species, *Pungitius sinensis* (Pisces: Gasterosteidae) in Korea. *Korean J. Ichthyol.* 28:186-191.
- Ko MH, MS Han and SM Kwan. 2018. Distribution aspect and extinction threat evaluation of the endangered species, *Cottus hangiongensis* (Pisces: Cottidae) in Korea. *Korean J. Ichthyol.* 30:155-160.
- Lee JW, JD Yoon, JH Kim, SH Park, SH Baek, JH Yoon and MH Jang. 2015. Efficiency analysis of the Ice harbor type fishway installed at the Gongju Weir on the Geum River using trap. *Korean J. Environ. Biol.* 33:75-82.
- Lee JW, JH Kim, SH Park, KR Choi, HJ Lee, JD Yoon and MH Jang. 2013. Impact of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) on the population of Korean native fish, crucian carp (*Carassius auratus*). *Korean J. Environ. Biol.* 31:370-375.
- Mallen-Cooper M and DA Brand. 2007. Non-salmonids in a sal-

- monid fishway: what do 50 years of data tell us about past and future fish passage? *Fish. Manag. Ecol.* 14:319–332.
- MLTMA. 2009. Rivers Design Criteria. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. Sejong, Korea.
- MOE/NIER. 2017. Biomonitoring Survey and Assessment Manual. Ministry of Environment/National Institute of Environmental Research. Incheon, Korea.
- Moon WK, DY Bae, DH Kim, HB Shin, JB Suh, KH Lim, EH Lee, JS Yoo, KG An, JG Kim. 2019. Assessment of fish fineness ratios passing through a fishway. *Korean J. Environ. Biol.* 37:726–734.
- Moon WK, DY Bae, DH Kim, HB Shin, JB Suh, KH Lim, EH Lee, JS Yoo, KG An and JG Kim. 2020. Assessment of fish stocks and economic value in accordance with fishway renovation: Case study of Samcheokoshipcheon0010 Weir. *Korean J. Environ. Biol.* 38:30–39.
- Mueller M, J Pander and J Geist. 2011. The effects of weirs on structural stream habitat and biological communities. *J. Appl. Ecol.* 48:1450–1461.
- National Fishway Information System. 2021. [www.fishway.go.kr](http://www.fishway.go.kr). Korea Rural Community Corporation. Naju, Korea.
- NIBR. 2014. Korean Red List of Threatened Species in Korea, Second Edition. National Institute of Biological Resources. Incheon, Korea.
- Ohio EPA. 2015. Biological criteria for the protection of aquatic life: Volume III. pp. 1–64. In: Standardized Biological Field Sampling and Laboratory Method for Assessing Fish and Macroinvertebrate Communities, 2nd ed. (Ohio EPA. eds). Columbus, OH.
- Park JS, SH Kim, HT Kim, JG Kim, JY Park and HS Kim. 2019. Study on feeding habits of *Micropterus salmoides* in habitat types from Korea. *Korean J. Ichthyol.* 31:39–53.
- Pennock CA, D Bender, J Hofmeier, JA Mounts, R Waters, VD Weaver and KB Gido. 2018. Can fishways mitigate fragmentation effects on Great Plains fish communities? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 75:121–130.
- Santos JM, MT Ferreira, AN Pinheiro and JH Bochechas. 2006. Effects of small hydropower plants on fish assemblages in medium-sized streams in central and northern Portugal. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 16:373–388.
- US EPA. 1993. Fish Field and Laboratory Methods for Evaluating the Biological Integrity of Surface Waters. EPA 600-R-92-111. Environmental Monitoring Systems Laboratory-Cincinnati office of Modeling, Monitoring Systems, and Quality Assurance Office of Research Development, US EPA. Cincinnati, OH.
- Vannote RL, GW Minshall, KW Cummins, JR Sedell and CE Cushing. 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37:130–137.