KJEE 53(3): 255-264 (2020)
https://doi.org/10.11614/KSL.2020.53.3.255
ISSN: 2288-1115 (Print), 2288-1123 (Online)

Original article

국내 6개 하천에서 어도를 이용하는 어류상

김동억 · 박제철* · 황종서[1] · 김동섭[2] · 이완옥[1] · 황길순[1]

국립금오공과대학교 환경공학과, [1]사단법인 한국수생태복원협회, [2]한국수자원공사

Fish Fauna Using Fishway on Six River in Korea. *Dong-Oug Kim* (0000-0002-4113-8146), *Je-Chul Park** (0000-0002-5162-7175), *Jeong-Seo Hwang*[1] (0000-0002-8183-6891), *Dong-Sup Kim*[2] (0000-0003-1936-7737), *Wan-Ok Lee*[1] (0000-0001-5063-3357) *and Gilson Hwang*[1] (0000-0002-3193-2658) *(Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology Gyeongbuk 39177, Republic of Korea; [1]Korea Association for Aquatic Ecosystem Restoration, Gyeonggi 17105, Republic of Korea; [2]K-water, Daejeon 34045, Republic of Korea)*

Abstract The use of fishway has been investigated up to 2~9 years, continuously each month and over the long term that installed in 6 domestic rivers. The fish's use of fishway has been investigated as direct collection by trap in exit section of the fishway. The population structure of fish using 6 fishway and the fish that live in the river showed difference. About 2 to 7 species of fish took possession of more than 80% of total use of fish in fishways. This seems to be not the results of attraction flow in fishway but specialized result of physiology characteristic followed by species of fish. In addition, the distribution of fish species using fishway was different with the fishways installed in river. This difference seems to be consequence of the place that of the river and fishway types. Generally, the fish species were less and had high ratio of home migratory fish in vertical slot type fishway, which shows relatively fast velocity of water flow. This analysis result of major fish species using fishway can be used in planning fishway and to choose major targeted species for the planning.

Key words: fishway, migration, movement, weir, spawning , fish passage

서 론

바다와 하천을 오가며 산란 서식하는 회귀성 어류를 포함하여 하천에서 수중생물의 종적 이동은 생존에 필수적인 요소이다. 따라서 댐이나 수중보 등의 수리시설물에 의한 종적 이동의 차단은 어도의 설치 필요성을 높이고 있다. 하지만 아직 국내에서는 어도 시설을 이용하는 수중생물에 대한 조사와 효과분석이 많지 않아 어류의 종별 이동을 포함한 개체군 생태와 이동 차단에 의한 군집생태의 영향이 잘 알려져 있지 않다. 국내 4대강의 본류에 설치된 수중보의 어도를 모니터링한 결과에서도 월별 어류 종과 개체수의 변동을 제시하는 것에 그치고 있다. 따라서 어류의 종별 및 계절별 이동특성 분석을 통한 어도의 어류 이용 평가가 필요하며, 이러한 결과는 어도개선 및 적정 운영의 기반이 될 수 있다. 또한 멸종위기종의 보전을 위한 주요한 시작이 될 수도 있다. 우리나라의 대표적인 고유종이며 멸종위기 야생생물 I급으로 지정 보호하고 있는 흰수마자는 처음 낙동강과 남강에서 채집을 보고한 이후 금강 수계의 미호천(Jeon and Son, 1983), 금강하구둑 어도(Korea Rural Community Corporation, 1998), 한강과 임진강의 중류 및 기수역(Choi, 1985; Chae, 2004)에서도 관찰된 사례

Manuscript received 13 July 2020, revised 10 August 2020, revision accepted 10 August 2020
* Corresponding author: Tel: +82-54-478-7633, Fax: +82-
E-mail: pjc1963@kumoh.ac.kr

ⓒ The Korean Society of Limnology. 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, provide the original work is properly cited.

가 있다. 이처럼 흰수마자와 같이 분포역이 매우 넓은 멸종위기종조차 이동특성이 제대로 밝혀져 있지 않은 실정에서 하천에서의 종적이동을 위한 어도가 논의되고 있다(K-water, 2017). 향후 이러한 어류를 위한 어도의 설치를 위해서는 어도의 형식별 수리특성과 이에 따른 어도 이용 시기 등에 대한 다양한 자료가 요구된다.

하천에서 어류의 이동은 회유(migration)라는 표현만으로는 설명이 제한적이다. 생물의 이동에서 회유는 집단적이며 주기적인 특성을 반영하며, 하천에서 어류의 회유는 산란과 가장 밀접하게 관련된 것으로 받아들여져 왔다. 따라서 우리나라에서 어도와 어류의 이동은 여전히 어류의 산란에 따른 회유 이동의 필요성에 한정하여 논의되고 있다. 하지만 국내 어도에서 장기간 어류이동을 연속 조사한 결과에 따르면 산란기의 집단 이동 이외에도 비산란기 이동이나 집단이 아닌 개체별 이동의 경향이 빈번히 나타나고 있다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2005). 이에 따르면 하천에서 어류의 어도 이용은 집단적인 회유(Migration)의 과정이나 결과보다는 개별적 의미가 강한 이동(Movement)이라고 보는 것이 타당할 것이다. 이를 통하여 하천의 수온변화 등에 따른 이동을 고려한 어도가 필요하다.

국내 하천에 설치된 어도에서 어류의 이동, 즉 어도의 이용에 대한 본격적이고 실질적인 평가는 하구둑에 설치된 어도의 효과조사(Korea Rural Community Corporation, 1998)에서 시작되었다. 이후 국내에서는 2001년부터 2003년까지 수행된 '하천의 어도를 비롯한 생태통로 연구(Korea Rural Community Corporation, 2004)'에서 어류의 어도 이용 조사가 이어졌다. 여기에서는 어류가 어도를 이용하여 이동하는 방식과 선호하는 경로 및 하루중 주요 이동 시간대 등에 대한 다양한 생태 자료가 축적되었다. 가장 주목되는 결과는 어도를 이용하는 많은 생물이 어류이기는 하지만 저서성대형무척추동물과 양서류 등 매우 다양한 수중생물이 함께 어도를 이용하고 있는 것이 확인되었다는 점이다. 이것으로 어도는 하천의 종적연속성을 위한 생태통로라는 개념으로 확장되었다. 또한 하천에 서식하는 대부분의 어류가 어도를 이용하여 이동한다는 결과도 확인하였다, 심지어 세력권을 형성하며 이동성이 거의 없다고 알려진 어류의 경우도 소수 개체의 이동이 관찰되었다. 이것을 통하여 회귀성 회유어류와 함께 모든 하천어류의 서식에도 국지성 회유 또는 이동이 반드시 필요하다는 것이 확인되었다.

이후 어도를 이용하는 어류의 조사는 해양수산부의 어도지침 마련을 위한 연구(Ministry of Oceans and Fisheries, 2005)와 2007년부터 2014년까지 수생태복원사업으로 진행된 전국 주요하천의 어도 모니터링 결과(Kangwon National University, 2014), 한강 잠실수중보의 신규어도 모니터링(The Seoul Institute, 2007), 임진강 군남홍수조절지 환경영향조사결과 통보서(K-water, 2016), 국가 어도개보수사업의 효과 평가(Ministry of Oceans and Fisheries, 2018) 등으로 이어졌다. 최근에는 4대강 사업으로 조성된 다목적보의 어도에서 어류의 이동이 활발히 조사되고 있지만 종별 이동생태 분석보다는 어도이용 종수와 개체수 분석에 머물고 있다. 따라서 어도 시설의 개선 및 운영방안의 수립에 실질적인 반영이 어려운 실정이다.

담수에 서식하는 어류가 이동하는 이유는 산란장 및 먹이터 또는 서식지 확보를 위한 이동, 폭우시 피신처 및 월동을 위한 은신처 확보 등 매우 다양하다. 이러한 이동의 효과는 산란과 서식지 확보를 통한 개체군의 규모변화 등으로 평가하기도 한다. 대표적인 방식이 하천 수산자원의 증가로 평가하는 것이다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2018). 다만 개체 수준에서는 이동에 따른 긍정적인 효과에 대한 평가가 많지는 않다. 대체로 생활사 동안 비교적 넓은 서식지 범위를 요구하는 어류는 해당 서식지의 경유가 원활하지 않을 때보다 이동로가 확보된 경우 개체별 평균 체장이 유의미하게 증가하는 것으로 알려져 있다. 은어 군집의 평균 체장은 하천의 길이와도 밀접하게 관련되는 것으로 알려져 가장 긴 하천에서 체장이 가장 큰 것으로 조사되었다(Lee *et al.*, 2008). 옥정호에서는 어도 설치 후 육봉형 은어의 체장이 증가하는 경향을 보여 어도가 은어 집단의 평균 크기와 생존에 중요한 역할을 하는 것으로 확인되었다(Ko and Park, 2013).

하천에서 어류의 이동을 차단하는 것은 수중보나 낙차공과 같은 시설에 의한 것만은 아니다. 자연적인 하천의 인공적인 변형, 구간별 수질오염, 심지어 댐 방류수에 의한 냉수대의 형성도 이동에 장애가 되며, 하천을 물놀이장으로 이용하는 교란행위도 마찬가지이다. 이러한 인위적인 영향에 의한 하천훼손 등은 서식지나 산란장의 크기를 축소할 수 있다(Jungwirth *et al.*, 1998; Laroche and Durand, 2004). 특히 댐이나 보에 의한 어류의 상하류 이동 차단은 경우에 따라 유전적 고립을 초래할 수 있다(Lee *et al.*, 2012). 이러한 고립으로 유전적 병목현상(genetic bottleneck)에 의한 유전자 손실(Allan and Flecker, 1993; Laroche and Durand, 2004)과 동시대적 진화(contemporary evolution)의 가능성이 제기되고 있다(Kinnison *et al.*, 2007; Carroll *et al.*, 2011). 국내에서도 하천의 수중보 등 수리시설물로 서식지가 단절 및 단편화된 하천에서 어류의 집단간 유전자 흐름과 다양성의 영향에 대한 연구가 있었고, 격리된 구간별 개체군에서 유전적 차별성이 나타났

Table 1. The station of river, fishway types, and the period of survey.

Station	River	Weir	District	Fishway type	Periods (No. of cases)
St.1	Han River	Jamsil-Bo	Seoul	Pool and weir	2006 Oct~2014 Nov (79)
St.2	Imjin River	Gunnam flood control Dam	Gyeonggi-Do, Yeonchon-Gun	Pool and weir	2012 May~2013 Nov (15)
St.3	Gapyeong Stream	Ipnaebi-Bo	Gyeonggi-Do, Gapyung-Gun	Ice-harbor	2008 Apr~2015 Apr (48)
St.4	Tamjin River	Simchon-Bo	Chollanam-Do, Jangheung-Gun	Ice-harbor	2003 May~2005 Jun (23) 2009 May~2014 May (43)
St.5	Yangyang Namdae Stream	Munseoroo-Bo	Gangwon-Do, Yangyang-Gun	Ice-harbor	2008 Apr~2014 May (44)
St.6	Yeongok Stream	Songlim-Bo	Gangwon-Do, Gangryung-Si	Vertical slot	2003 Jun (1) 2008 Apr~2014 May (26)

다(Lee *et al.*, 2012). 이것은 인위적 시설형태의 어도를 통해서라도 어류의 이동을 보장하고 서식지를 연결할 필요성을 보여주었다.

따라서 본 연구에서는 어도를 이용하여 이동하는 어류를 조사하여 종별 이동생태를 파악하고, 이러한 결과에 기초하여 하천의 종적 연속성 확보 및 수중생물의 최적이동을 위한 적합한 어도 계획 마련에 기여하고자 한다.

연구 방법

본 연구에서 어류의 이동특성 분석에 이용한 조사자료는 해양수산부에서 시행한 어도 제도개선을 위한 '하천에서의 수산자원 보호를 위한 어도시설 표준설계·시공 등 표준모형 개발 및 운영·관리제도 연구(Ministry of Oceans and Fisheries, 2005)의 조사결과(2000년~2004년)와 환경부 Eco-STAR 프로젝트(2007년~2014년)의 수생태계 생물서식처 복원기술개발(Kangwon National University, 2014), 임진강 군남댐(군남홍수조절지)의 환경영향조사(2013년~2015년)의 어도조사 결과(K-water, 2016) 등을 이용하였다. 대상지를 하천별로 구분하면 한강(잠실수중보), 임진강(군남홍수조절지댐), 가평천(입내비보), 탐진강(심천보), 양양남대천(문서루보), 연곡천(송림보) 등이다. 대상하천 및 대상 어도, 그리고 조사기간은 Table 1과 같다. 하천별 보에 설치된 어도는 아이스하버식 어도가 3개소, 계단식(조작형식 병행) 어도가 2개소, 버티컬슬롯식 어도가 1개소이다. 6개 하천의 어도를 이용하는 어류의 채집조사는 동계인 12월부터 2월까지를 제외하고 매월 실시하여 어도를 이용하는 어류 및 개체수를 분석하였다. 어류의 채집조사는 모두 어도의 출구부에서 실시하였다.

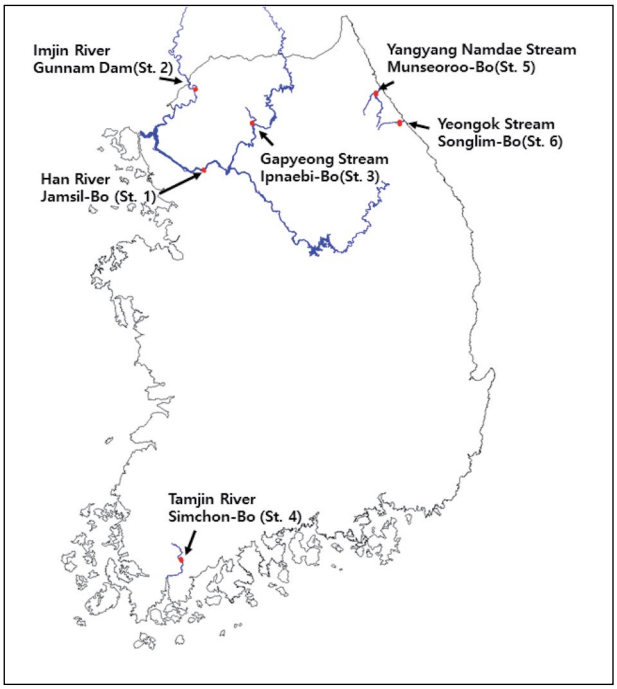

Fig. 1. Map showing the studied stations in Korea.

잠실수중보에는 한강종합개발사업 당시에 조성된 계단식 어도와 2006년에 신규로 조성된 계단식 어도(St. 1)가 있다. 본 조사에서 이용한 자료는 출구 4개 계단이 수위에 따라 자동적으로 오르내리는, 계단식과 가동식을 결합하여 조성한 신규 어도의 조사결과이다. 군남댐 어도는 출구부에 가동계단이 설치된 계단식 어도이고, 출구는 댐 본체의 상류쪽으로 개방수문이 조성된 조작형식의 어도(St. 2)이다. 조사는 계단식 어도의 마지막 단에서 월류부와 잠공을 각각 조사하였다. 가평천의 입내비보는 아이스하버식 어

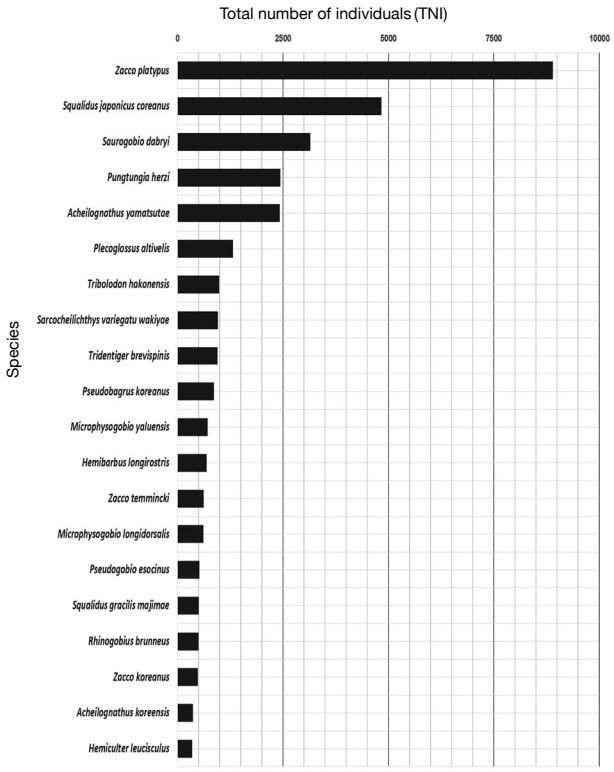

Fig. 2. The top 20 species and individual number on using fishway in the six rivers.

도가 조성되어 있고 출구부에서 조사(St. 3)하였다. 탐진강의 심천보 어도는 아이스하버식 어도이고 장흥댐 바로 하류에 위치(St. 4)하고 있으며. 장흥댐에도 어도(트럭식)가 설치되어 있다. 양양남대천의 문서루보에는 기존에 낙차가 큰 계단식 어도가 있었는데, 아이스하버식 어도로 재설치되고 난 이후에 조사한 결과이다(St. 5). 강릉시 연곡천의 송림보는 버티컬슬롯식 어도가 조성되어 있고 출구부에서 조사하였다(St. 6). 송림보에는 현재 다양한 형식의 어도가 추가 조성되어 있다.

어도별 조사 횟수는 잠실수중보가 79회로 가장 많았고, 군남댐이 15회로 가장 적었다. 가평천 입내비보는 48회, 탐진강 심천보는 66회, 양양남대천 문서루보에서는 44회, 연곡천 송림보는 27회를 조사하였으며, 각 어도별로 최소 2년에서 최장 9년 동안 장기 조사한 결과이다(Fig. 1, Table 1).

결과 및 고찰

본 연구에서는 국내 6개 하천의 수중보에 설치된 어도

Table 2. The species list and individual number of fishes collected in fishway at Jamsil-Bo (Han River).

Species	Individual number	RA (%)	Remark
Cyprinidae			
Acanthorhodeus gracilis	94	0.72	•
Erythroculter erythropterus	15	0.11	
Squalidus gracilis majimae	225	1.71	•
Opsariichthys uncirostris amurensis	36	0.27	
Acheilognathus signifer	2	0.02	*•
Pseudogobio esocinus	177	1.35	
Abbottina rivularis	1	0.01	
Carassius auratus	17	0.13	
Acheilognathus yamatsutae	30	0.23	•
Acheilognathus lanceolatus	8	0.06	
Hemibarbus labeo	149	1.13	
Squaliobarbus curriculus	1	0.01	
Pungtungia herzi	7	0.05	
Microphysogobio jeoni	26	0.20	•
Saurogobio dabryi	3,140	23.9	
Carassius cuvieri	3	0.02	
Squalidus japonicus coreanus	4,830	36.8	
Hemiculter leucisculus	348	2.65	
Coreoleuciscus splendidus	1	0.01	•
Gnathopogon strigatus	22	0.17	
Sarcocheilichthys nigripinnis morii	54	0.41	•
Hemibarbus longirostris	13	0.10	
Squalidus chankaensis tsuchigae	2	0.02	•
Pseudorasbora parva	11	0.08	
Sarcocheilichthys variegatu wakiyae	63	0.48	•
Hemiculter eigenmanni	9	0.07	•
Acanthorhodeus macropterus	102	0.78	
Rhodeus pseudosericeus	9	0.07	*•
Zacco platypus	2,243	17.1	
Centrachidae			
Micropterus salmoides	5	0.04	
Lepomis macrochirus	27	0.21	
Bagridae			
Pseudobagrus fulvidraco	1	0.01	
Leiocassis nitidus	1	0.01	
Gobiidae			
Rhinogobius giurinus	20	0.15	
Chaenogobius urotaenia	18	0.14	
Tridentiger brevispinis	934	7.11	
Rhinogobius brunneus	416	3.17	
Siluridae			
Silurus asotus	1	0.01	
Osmeridae			
Hypomesus nipponensis	11	0.08	
Plecoglossus altivelis	70	0.53	
Belontiidae			
Macropodus ocellatus	1	0.01	
41 Species	13,143	100.0	

RA : Relative abundance, * : Korean endemic species,
• : Endangered species

Table 3. The species list and individual number of fishes collected in fishway at Gunnam flood control Dam (Imjin River).

Species	Individual number	RA (%)	Remark
Cyprinidae			
Pseudopungtungia tenuicorpa	33	0.44	*•
Acanthorhodeus gracilis	1	0.01	•
Acheilognathus yamatsutae	2,286	30.3	•
Erythroculter erythropterus	18	0.24	
Squalidus gracilis majimae	1	0.01	•
Acheilognathus lanceolatus	65	0.86	
Acheilognathus rhombeus	19	0.25	
Hemibarbus labeo	19	0.25	
Opsariichthys uncirostris amurensis	4	0.05	
Pungtungia herzi	1,443	19.1	
Microphysogobio yaluensis	3	0.04	•
Saurogobio dabryi	13	0.17	
Carassius cuvieri	3	0.04	
Pseudogobio esocinus	118	1.56	
Squalidus japonicus coreanus	8	0.11	•
Acheilognathus signifer	34	0.45	*•
Microphysogobio longidorsalis	136	1.80	•
Abbottina rivularis	1	0.01	
Carassius auratus	10	0.13	
Coreoleuciscus splendidus	101	1.34	•
Hemibarbus mylodon	4	0.05	•
Abbottina springeri	1	0.01	•
Cyprinus carpio (hybrid)	1	0.01	
Cyprinus carpio	3	0.04	
Gnathopogon strigatus	1	0.01	
Sarcocheilichthys nigripinnis morii	3	0.04	•
Zacco koreanus	96	1.27	•
Hemibarbus longirostris	96	1.27	
Sarcocheilichthys variegatu wakiyae	814	10.8	•
Zacco platypus	1,217	16.1	
Centrachidae			
Lepomis macrochirus	1	0.01	
Bagridae			
Pseudobagrus koreanus	797	10.6	•
Leiocassis ussuriensis	94	1.24	
Gobiidae			
Rhinogobius brunneus	12	0.16	
Siluridae			
Silurus asotus	3	0.04	
Silurus microdorsalis	27	0.36	•
Centropomidae			
Coreoperca herzi	39	0.52	•
Siniperca scherzeri	10	0.13	
Anguillidae			
Anguilla japonica	16	0.21	
39 Species	7,551	100.0	

RA : Relative abundance, * : Korean endemic species,
• : Endangered species

Table 4. The species list and individual number of fishes collected in fishway at Ipnaeby-Bo (Gapyeong Stream).

Species	Individual number	RA (%)	Remark
Cyprinidae			
Pseudopungtungia tenuicorpa	164	0.57	*•
Squalidus gracilis majimae	1	0.03	•
Opsariichthys uncirostris amurensis	3	0.09	
Acheilognathus lanceolatus	6	0.19	
Acheilognathus rhombeus	1	0.03	
Hemibarbus labeo	8	0.25	
Pungtungia herzi	389	12.0	
Microphysogobio yaluensis	74	2.29	•
Pseudogobio esocinus	36	1.11	
Acheilognathus signifer	7	0.22	*•
Microphysogobio longidorsalis	479	14.8	•
Abbottina rivularis	8	0.25	
Carassius auratus	16	0.49	
Coreoleuciscus splendidus	216	6.68	•
Abbottina springeri	9	0.28	•
Acheilognathus yamatsutae	103	3.18	•
Zacco koreanus	229	7.08	•
Hemibarbus longirostris	247	7.64	
Sarcocheilichthys variegatu wakiyae	6	0.19	•
Zacco platypus	1,138	35.2	
Centropomidae			
Coreoperca herzi	44	1.36	•
Cobitidae			
Koreocobitis rotundicaudata	9	0.28	•
Iksookimia koreensis	42	1.30	•
23 Species	3,235	100.0	

RA : Relative abundance, * : Korean endemic species,
• : Endangered species

를 이용하는 어류상을 분석하였다. 하천과 어도에 따라 2~9년 동안 동계를 제외하고 월별로 조사한 어도 이용 어류는 모두 74종 34,872 개체였다.

6개 어도에서 각각 조사된 어도이용 어류 중 이동이 많은 종은 피라미, 몰개, 두우쟁이, 돌고기, 줄납자루, 은어, 황어, 참중고기, 민물검정망둑, 눈동자개, 돌마자, 누치, 갈겨니, 배가사리, 모래무지, 긴몰개, 밀어, 참갈겨니, 칼납자루, 쉬리의 순으로 나타났다. 이 중 피라미는 3개 하천의 어도에서 가장 어도 이용이 많은 어류로 나타났다(Fig. 2).

1. 결과

1) 한강 잠실수중보

잠실수중보(St. 1)의 어도에서는 41종 13,143개체가 채

집되었다. 어도를 이용하는 어류의 고유종 비율은 26.8% (11종), 멸종위기종 출현비율은 4.9% (2종)이었다. 어도이동이 많은 종은 몰개(*Squalidus japonicus coreanus*), 두우쟁이(*Saurogobio dabryi*), 피라미(*Zacco platypus*), 민물검정망둑(*Tridentiger brevispinis*), 밀어(*Rhinogobius brunneus*)의 순으로 전체 어도이용의 88.1%이었다. 이 중 몰개, 두우쟁이 그리고 피라미는 모두 2,000개체 이상으로 전체 어도이용 어류의 77.8%에 해당하였다(Table 2).

2) 임진강 군남댐

임진강의 군남댐(군남홍수조절지)에 설치된 어도(St. 2)에서는 39종 7,551개체가 채집되었다. 고유종의 비율은 비교적 높은 43.6% (17종), 멸종위기종 출현비율은 5.1% (2종)로 나타났다. 어도에서 채집된 종은 줄납자루(*Acheilognathus yamatsutae*), 돌고기(*Pungtungia herzi*), 피라미, 참중고기(*Sarcocheilichthys variegatu wakiyae*), 눈동자개(*Pseudobagrus koreanus*)의 차례로 많았고 전체의 86.9%였다. 눈동자개와 참중고기의 어도에서의 채집율은 각각 10.6%와 10.8%로 높았다(Table 3).

3) 가평천 입내비보

경기도 가평천의 입내비보(St. 3)에서 채집된 어류는 23종 3,235개체였다. 고유종 비율은 56.5% (13종)로 높았다. 어도에서의 채집은 피라미, 배가사리(*Microphysogobio longidorsalis*), 돌고기, 참마자(*Hemibarbus longirostris*), 참갈겨니(*Zacco koreanus*), 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*), 가는돌고기(*Pseudopungtungia tenuicorpa*), 줄납자루의 순으로 많았다(Table 4). 어도를 이용한 이동이 많았던 가평천의 상위 6개 종은 전체의 83.4%를 차지하였다. 한편, 긴몰개(*Squalidus gracilis majimae*), 납지리(*Acheilognathus rhombeus*), 끄리(*Opsariichthys uncirostris amurensis*) 등은 이동이 매우 적었다(Table 4).

4) 탐진강 심천보

탐진강의 심천보 어도(St. 4)에서 채집된 어류는 총 32종 7,492개체였다. 고유종 비율은 37.5% (12종)로 나타났다. 어도에서의 채집 어류는 피라미가 48.6%로 가장 많았다. 그 다음은 돌마자, 갈겨니(*Zacco temmincki*), 칼납자루(*Acheilognathus koreensis*), 참마자(*Hemibarbus longirostris*), 돌고기, 긴몰개, 빙어 등의 순으로 전체의 86.2%에 해당하였다. 떡납줄갱이(*Rhodeus notatus*), 큰입배스(*Micropterus salmoides*), 동사리(*Odontobutis platycephala*) 등은 어도이용이 적었다(Table 5).

5) 양양남대천 문서루보

양양남대천의 문서루보 어도(St. 5)에서 채집한 어류는 총 16종 1,628개체이며, 고유종은 3종, 18.8%로 낮았다. 국내 도입종인 피라미가 32.7%로 가장 높은 출현율

Table 5. The species list and individual number of fishes collected in fishway at Simcheon-Bo (Tamjin River).

Species	Individual number	RA (%)	Remark
Cyprinidae			
Acanthorhodeus gracilis	2	0.03	•
Rhodeus uyekii	88	1.17	•
Zacco temmincki	624	8.33	
Acheilognathus lanceolatus	95	1.27	
Acheilognathus rhombeus	13	0.17	
Pungtungia herzi	325	4.34	
Microphysogobio yaluensis	637	8.50	•
Rhodeus notatus	1	0.01	
Pseudogobio esocinus	190	2.54	
Carassius auratus	48	0.64	
Abbottina springeri	132	1.76	•
Acheilognathus yamatsutae	5	0.07	•
Zacco koreanus	1	0.0	•
Hemibarbus longirostris	334	4.46	
Pseudorasbora parva	8	0.11	
Sarcocheilichthys variegatu wakiyae	73	0.97	•
Hemiculter eigenmanni	121	1.62	•
Acheilognathus koreensis	367	4.90	•
Acanthorhodeus macropterus	5	0.07	
Rhodeus ocellatus	6	0.08	
Zacco platypus	3,644	48.6	
Squalidus gracilis majimae	281	3.75	•
Centrachidae			
Micropterus salmoides	1	0.01	
Odontobutidae			
Odontobutis platycephala	1	0.01	•
Bagridae			
Pseudobagrus koreanus	66	0.88	•
Gobiidae			
Rhinogobius brunneus	54	0.72	
Siluridae			
Silurus asotus	23	0.31	
Centropomidae			
Coreoperca kawamebari	29	0.39	*
Cobitidae			
Iksookimia hugowolfeldi	3	0.04	•
Cobitis lutheri	52	0.69	
Osmeridae			
Hypomesus nipponensis	249	3.32	
Plecoglossus altivelis	14	0.19	
32 Species	7,492	100.0	

RA : Relative abundance, * : Korean endemic species,
• : Endangered species

Table 6. The species list and individual number of fishes collected in fishway at Munseoroo-Bo (Yangyang Namdae Stream).

Species	Individual number	RA (%)	Remark
Cyprinidae			
Pseudopungtungia tenuicorpa	1	0.06	*•
Pungtungia herzi	270	16.6	
Rhynchocypris steindachneri	5	0.31	
Zacco koreanus	159	9.77	•
Pseudorasbora parva	2	0.12	
Tribolodon hakonensis	409	25.1	
Zacco platypus	532	32.7	
Cottidae			
Cottus hangiongensis	1	0.06	*
Gobiidae			
Chaenogobius urotaenis	17	1.04	
Tridentiger brevispinis	12	0.74	
Rhinogobius brunneus	7	0.43	
Cobitidae			
Cobitis pacifica	12	0.74	•
Osmeridae			
Plecoglossus altivelis	173	10.6	
Salmonidae			
Onchorhynchus masou masou	19	1.17	
Onchorhynchus keta	7	0.43	
Balitoridae			
Orthrias toni	2	0.12	
16 Species	1,628	100.0	

RA : Relative abundance, * : Korean endemic species,
• : Endangered species

을 보였다. 그리고 회귀성 회유어류인 황어(*Tribolodon hakonensis*), 그리고 돌고기, 은어(*Plecoglossus altivelis*), 참갈겨니(*Z. koreanus*) 등이 우세하게 이동하여 전체 어류의 97.8%였다. 양양남대천 어도에서는 가는돌고기(*Pseudopungtungia tenuicorpa*), 종개(*Orthrias toni*), 한둑중개(*Cottus hangiongensis*), 참붕어(*Pseudorasbora parva*) 등은 어도이용이 적은 종으로 나타났다(Table 6).

6) 강릉 연곡천 송림보

연곡천의 송림보 어도(St. 6)에서 어류는 총 9종 1,823개체가 채집되었고, 고유종은 22.2%(2종)를 보였다. 많은 어도이용을 보인 어류는 은어와 황어, 피라미로 각각 58.2%와 32.0%, 7.2%에 달하였다. 이 세 종이 전체 어도이용 어류의 97.4%로 대부분을 차지하였고, 쉬리와 돌고기는 어도 이용이 적었다. 한편 양양남대천과 연곡천에서 한국고유종인 북방종개(*Cobitis pacipica*)의 어도 이용이 적은 개체수로 관찰되었다(Table 7).

Table 7. The species list and individual number of fishes collected in fishway at Songlim-Bo (Yeongok Stream).

Species	Individual number	RA (%)	Remark
Cyprinidae			
Pungtungia herzi	9	0.49	
Coreoleuciscus splendidus	15	0.82	•
Tribolodon hakonensis	583	32.0	
Zacco platypus	131	7.19	
Gobiidae			
Chaenogobius urotaenia	5	0.27	
Tridentiger brevispinis	2	0.11	
Rhinogobius brunneus	8	0.44	
Cobitidae			
Cobitis pacifica	9	0.49	•
Osmeridae			
Plecoglossus altivelis	1,061	58.2	
9 Species	1,823	100.0	

RA : Relative abundance, * : Korean endemic species,
• : Endangered species

2. 고찰

국내 6개 하천에 설치된 각각의 어도에서 채집된 어류는 총 74종으로 해당 하천에 서식하는 대부분의 어류가 어도를 이용한 것으로 보인다. 4대강 보에 설치된 어도모니터링에서 하천과 어도를 동시에 조사한 결과 조사방식의 문제만 없다면 하천의 어류상보다 어도에서 5~6종이 더 많이 채집되었다. 따라서 본 연구에서 포함되지 않은 영산강, 금강, 섬진강, 낙동강 수역 및 하구 등에 설치된 어도의 기존 조사결과를 추가 반영한다면 담수 어류의 대부분이 어도를 이용할 것으로 예상된다. 한편 2014년부터 2019년까지 전국의 120개 어도를 개보수하며 사후모니터링한 결과에서는 어도를 이용한 어류가 모두 147종인 것으로 알려져 있다(National fishway information system, 2019).

본 연구의 결과는 대부분의 하천 어류가 생활사에서 빈도와 개체수의 차이는 있지만 어도를 이용하여 이동한다는 것을 보여주었다. 어류의 어도 이용 결과는 하천의 위치와 수역에 따른 서식어류의 분포상과 회유어류의 이동특성을 잘 보여주었다. 하천에 따라서 어도이용 어류가 큰 차이를 보여 하천의 어류상과 회유어류의 분포에 따른 차이가 있음을 보여준다. 물론 이러한 결과는 해당 보의 위치와 하구 사이의 또다른 횡단시설물(barrier)의 수량, 어도의 유무와 어도형식의 특성에 따른 어류 이동가능성 등에 의해 영향을 받을 것으로 보인다. 결과적으로 피라미 등 일부 어류를 제외하고 종별 하천 출현율과 어도에서의

출현율은 대부분 매우 달랐다. 또한 어도이용 어류 중에서 하천과 어도에 따라 약 2~7종이 전체의 80% 이상으로 대부분을 차지하였다. 이것은 연중 이동하는 특성을 보인 피라미를 제외하고 해양 및 하구로부터의 회유나 하천 구간에서 산란기의 대규모 회유에 의한 결과로 보인다. 따라서 어도에 의해 이동이 필요하지 않은 어류의 이동이 유도되는 경우는 많지 않을 것으로 사료된다. 향후에 일부 종과 개체 단위에서의 일시적 또는 소규모 어도이용에 의한 이동 특성과 이에 따른 생태적 효과가 규명될 필요가 있다고 판단된다.

최근 2016년 6월부터 2017년 3월까지 한강 5개 지점에서 조사된 하천에서의 출현 어류는 56종이었고(Byeon, 2018). 어도이용 어류는 41종이었다. 잠실수중보 어도(St. 1)에서 이동이 많았던 몰개는 보의 상류에 주로 분포하며, 하천 출현율은 0.59%로 높지 않은 것으로 알려져(Byeon, 2018) 있으나 어도를 통한 이동은 가장 많은 것으로 조사되었다. 한강에서는 기수역에 서식하거나 회유하는 웅어(*Coilia nasus*), 강주걱양태(*Repomucenus olidus*), 황복(*Takifugu obscurus*) 등의 서식이 보고되었으나 어도에서는 관찰되지 않았다. 다만, 과거 하구둑 등에 설치된 어도에서 이러한 어류의 이동이 보고된 사례(Korea Rural Community Corporation, 1998)가 있었다. 하지만 잠실수중보의 어도(St. 1)처럼 오랜 기간동안 매월의 조사에서도 관찰되지 않는 종이 있었다. 잠실수중보 어도에서 두우쟁이의 경우 69회의 조사동안 어도의 이용은 총 6회 관찰되었고, 그중 단 한 번의 조사에서 3,000개체 이상 이동하는 것이 채집되었다. 따라서 하천에 서식하는 어류의 대부분이 어도를 이용하여 이동하는 것으로 보이기는 하지만 특정 어류의 이동생태를 이해하기 위해서는 좀 더 높은 빈도와 일주기를 포함한 짧은 간격의 조사분석이 필요하다.

과거 임진강 하류(Byeon, 2014)에서의 어류 군집은 각각 2008년부터 2012년까지 4개년 동안 약 29~32종, 총 42종이 출현하였다. 한편, 군남댐 어도에서는 2년 동안 39종이 채집되어 하천에서 조사된 어류의 대부분이 어도를 이용한 것으로 나타났다.

가평천 상류에서 2005년 4월부터 2013년 10월까지 조사된 어류상 보고(Yoon, 2014)에 따르면 총 17종이 출현하였다. 가평천 하류에서는 이보다 많은 21종이 보고(Baek and Kim, 2014)된 바 있다. 본 연구에서는 23종이 어도에서 채집되어 하천에서의 출현종보다 많았다.

송림보 어도는 버티컬슬롯식 어도로 다른 형식의 어도에 비하여 같은 경사에서도 비교적 어도내부의 유속이 다른 계단식이나 아이스하버식 어도보다 빨라(Ministry of Oceans and Fisheries, 2005) 어도를 이용하는 어류가 제한되는 경우가 있다. 이러한 이유로 송림보의 어도에서 유영능력이 상대적으로 좋은 어류의 이동이 우세하였던 것으로 보인다. 어도형식에 따른 내부 유속의 차이는 같은 동해로 흐르는 하천인 양양남대천 문서루보의 아이스하버식 어도에서의 어류이동과 비교된다. 양양남대천 문서루보(St. 5)는 연곡천 송림보(St. 6)의 어도 이용 어류는 각각 16종과 9종으로 차이를 보였다. 송림보 버티컬슬롯식 어도에서의 어도이용 어류는 비교적 유영력이 좋은 회귀어류의 이동이 상대적으로 많았다.

어도에서의 어류 조사와 이동의 분석은 어류의 이동생태를 이해하고 어도시설을 계획하는데 매우 중요하다. 하지만 과거 국내에서는 어류의 어도 이용조사 사례가 많지 않아 이러한 분석과 활용이 제한적이었다. 2000년대부터 어도와 하천생태에 대한 관심이 높아지면서 어도모니터링이 증가하기 시작했다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2005). 연어와 같은 경제성 어류를 위한 하천어도 및 댐어도를 유럽은 1900년대 초, 미국은 1930년대부터 본격적으로 조성하면서 어도 효율을 평가하기 위한 모니터링이 실시되었다(Katopodisa and Williams, 2012). 이러한 결과를 분석하여 강하용 어도의 필요성과 어도 세부구조에 대한 기준을 제시하기도 하였다(Mandal *et al.*, 2015). 이처럼 어류의 어도이용 분석은 어도 계획에 필수적이다. 어도를 이용하는 어류를 포함한 수중생물에 대한 이러한 평가는 하천 및 댐어도의 계획과 조성에서 대상종 및 그에 따른 어도형식과 운영방식 등을 결정하는데 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

적 요

국내 주요 6개 하천의 보에 설치된 어도에서 2~9년 이상 매월 연속적이고 장기적으로 어류의 어도이용을 조사하였다. 어류의 어도 이용은 어도 출구부에서 trap에 의한 직접 채집 방법으로 조사하였다. 6개 지점의 어도를 이용하는 어류와 하천에 서식하는 어류의 군집구조는 차이를 보였다. 어류의 어도 이용은 대략 2~7종이 전체의 80% 이상을 차지하였다. 이것은 어류의 어도 이용이 종적 생리특성에 따라 특화된 결과로 보이며, 단순히 어도에서의 흐름에 따라 어도 이용을 유인하는 경우는 많지 않은 것으로 보인다. 또한, 6개 지점에서 어도 이용 어류의 분포는 하천의 위치 및 보에 설치된 어도형식에 따라 달랐다. 이러한 차이는 해양 및 하구로부터 이동한 회유종의 분포 여부에 의한 결과로 보인다. 또한, 어도형식에 따른 수리특성의 차이도 영향을 주었다. 대체로 어도 내부에서 상대적으로

빠른 유속을 보이는 버티컬슬롯식 어도에서 어도이용 종수가 적고 유영능력이 좋은 어류의 비율이 높았다. 어도를 이용하는 주요 어류의 분석결과는 어도 계획과 이를 위한 주요 대상종의 선정에 활용될 수 있을 것이다.

저자정보 김동억(국립금오공과대학교 박사과정), 박제철(국립금오공과대학교 교수), 황종서(사단법인 한국수생태복원협회 이사), 김동섭(한국수자원공사 수석연구원) , 이완옥(사단법인 한국수생태복원협회 이사) , 황길순(사단법인 한국수생태복원협회 부회장)

저자기여도 개념설정 및 원고작성: 김동억, 박제철, 조사 및 채집: 황종서, 황길순, 김동섭, 자료분석: 이완옥

이해관계 본 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음.

사사 본 연구는 금오공과대학교 교수연구년제에 의하여 연구된 논문임.

REFERENCES

Allan, J.D. and A.S. Flecker. 1993. Biodiversity conservation in running waters: identifying the major factors that threaten destruction of riverine species and ecosystems. *Bioscience* **43**(1): 32-43.

Back, H.M. and S.H. Kim. 2014. Freshwater Fish Fauna of down reach of Gapyeong Stream. 4th National Ecosystem Survey.

Byeon, H.K. 2014. Fish Community and Upstream of Glass Eels (*Anguilla japonica*) in the Imjin River Estuary, Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* **47**(Special issue): 31-38. (in Korean with english abstract)

Byeon, H.K. 2018. Characteristic of Fish Community and Distribution of Exotic Species at the Hangang River in Seoul, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **30**: 144-154. (in Korean with english abstract)

Carroll, S., M.T. Kinnison and L. Bernatchez. 2011. In light of evolution: interdisciplinary challenges in food, health, and the environment. *Evolutionary Applications* **4**: 155-158.

Chea, B.S. 2004. Status and protection policy of *Gobiobotia naktongensis* Mori (Cyprinidae, Pisces). In, The Proceeding of the Fall Academic Symposium. The Ichthyological Society of Korea. pp. 47-57. (in Korean)

Choi, K.C. 1985. Nature of Gyeonggi Province. Gyeonggi Provincial Office of Education. (in Korean)

GRMC. 2015. Evaluation and improvement of fishway efficiency. Geum River Management Commission.

Jeon, S.R. and Y.M. Son. 1983. Studies on the distribution of *Gobiobotia naktongensis* Mori (Gobibotinae, Cyprinidae) from Korea. *Korean Journal of Limnology* **16**: 21-26. (in Korean)

Jungwirth, M., S. Schmutz and S. Weiss. 1998. Fish migration and fish by passes. Blackwell Science, Oxford, UK, 440pp.

Kangwon National University. 2014. Development of Restoration Technology of Habitat in Aquatic Ecosystem. (in Korean)

Katopodisa, C. and J.G. Williams. 2012. The development of fish passage research in a historical context. *Ecological Engineering* **48**: 8-18.

Kinnison, M.T., A.P. Hendry and C.A. Stockwell. 2007. Contemporary evolution meets conservation biology II: impediments to integration and application. *Ecological Research* **22**(6): 947-954.

Ko, M.H. and J.Y. Park. 2013. Changes in Body Size in a Landlocked Population of Sweet Smelt *Plecoglossus altivelis* (Pisces: Osmeridae), Related to the Construction of a Fishway in Lake Okjeong, Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* **27**(4): 429-436. (in Korean with english abstract)

Korea Rural Community Corporation. 1998. A study on the use of fishway in the estuary. Ministry of agriculture and forestry. (in Korean)

Korea Rural Community Corporation. 2004. Development of corridor technology including fishway in stream. 214pp. Ministry of environment. (in Korean)

K-water. 2016. Report on the environmental impact survey results of Gunnam Flood Control Dam. (in Korean)

K-water. 2017. A Study on the Ecological Health of Naeseongcheon Stream for the Protection and Restoration of Endangered Fresh Water Fish. (in Korean)

Laroche, J. and J. Durand. 2004. Genetic structure of fragmented populations of a threatened endemic percid of the Rhone river: *Zingel asper. Heredity* **92**: 329-334.

Lee, S.A., W.O. Lee and H.Y. Suk. 2012. Genetic differentiation between up and downstream populations of *Tribolodon hakonensis* (Pieces; Cyprinidae). Guryongmunhwasa, 128pp. (in Korean with english abstract)

Lee, W.O., S.W. Yoon, J.H. Kim and D.H. Kim. 2008. Comparison of growth and spawning characteristics of Ayu, *Plecoglossus altivelis* in Seomjin River and stream flowing to the East Sea, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **20**: 179-189. (in Korean with english abstract)

Mandal, P., Z. Tu, X. Yuan, Y. Gao, Y. Huang and H. Peng. 2015. Importance of Design Factor in Improvement of Fishway Efficiency. *American Journal of Environmental Protection* **4**(6): 344-353.

Ministry of Oceans and Fisheries. 2005. Study of standard model development and operation and management system for the protection of Fishery Resources in the River, including Standard Design and Construction of Fishway Facilities. (in Korean)

Ministry of Oceans and Fisheries. 2018. Fishway survey and

evaluation manual (in Korean)
National fishway information system. 2019. www.fishway.go.kr
The Seoul Institute. 2007. Report of monitoring and maintenance of the Jamsil-Bo fishway. (in Korean)
Yoon, S.J., J.K. Choi and H.G. Lee. 2014. Long-Term Variation of the Fish Community in the Upper Region of the Gapyeong Stream, Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* **28**(4): 432-441.