

Original article

내수면 수산자원보호구역 오십천 및 왕피천의 어류군집 구조 및 수산자원 분포특성

김경훈^{1,2} · 이진왕¹ · 조영빈¹ · 임재현³ · 최지웅^{1,*}

¹주식회사 다운ECO, ²공주대학교 생물교육과, ³국립수산과학원 어장환경과

Fish Community Structures and Distribution Characteristics of Fisheries Resources in the Osip Stream and Wangpi Stream, Fishery Resources Protection Areas. Kyung-hoon Kim^{1,2} (0009-0000-9443-2872), Jin-wang Lee¹ (0009-0008-9943-0970), Young-bin Jo¹ (0009-0007-0855-1332), Jae-Hyun Lim³ (0000-0001-9308-5119) and Ji-Woong Choi^{1,*} (0000-0002-2114-0622) (¹DaonEco Corporation, Sejong 30081, Republic of Korea; ²Department of Biology Education, Kongju National University, Gongju 32588, Republic of Korea; ³Marine Environment Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea)

Abstract The objectives of this study were to analyze the fish community structures and distribution characteristics of fisheries resources in the Osip Stream and Wangpi Stream, fishery resources protection areas. For the study, we conducted fish samplings four times in the two streams from April to October 2019. In Osip Stream and Wangpi Stream, we sampled 31 species and 29 species and the dominant species were *Zacco platypus* (28.6%) and *Squalidus multimaculatus* (41.7%), respectively. According to the life type of fish species, primary freshwater species were collected 18 species (58.1%) and 21 species (72.4%), and migration fishes were sampled 4 species (12.9%) and 6 species (20.7%) in Osip Stream and Wangpi Stream, respectively. Fisheries resources species showed high relative abundance in June, and the fish biomass was highest in October. As a results of comparing the previous studies with this study, both rivers showed high biodiversity and were found to maintain stable populations of fishes. According to analysis of tolerance guilds, the proportion of tolerant species, based on the number of individuals, was composed of 14.4% and 1.1% in Osip Stream and Wangpi Stream, respectively. This very low ratio of tolerant species confirmed that both streams have very good physiochemical environment conditions. From the above results, it was judged that the fishery resource protection areas of Osip Stream and Wangpi Stream have high ecological function and preservation value. For sustainable use and management of fishery resource protection areas of Osip Stream and Wangpi Stream, it is suggested that biological disturbance management, fish discharge projects considering environmental capacity, efforts to improve the habitat environment, and establishing a fishery resource protection areas management system were necessary as considerations.

Key words: fisheries resource protection areas, Osip Stream, Wangpi Stream, fish community, fisheries resources

Manuscript received 14 March 2023, revised 23 March 2023,
revision accepted 28 March 2023

* Corresponding author: Tel: +82-44-868-1284, Fax: +82-44-868-1286
E-mail: chjw83@hanmail.net

© 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.

서 론

수산자원보호구역은 「수산자원관리법」 제3조 4항에 의거하여 수산자원의 보호 및 육성을 위한 공유수면이나 그에 인접한 토지를 지정하고 있으며(MOF, 2020), 1975년 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제40조에 근거하여 처음 지정 및 운영되었다(Kang, 2017).

2022년 기준 전국 30개 구역(해면 10개, 내수면 20개 구역)을 수산자원보호구역으로 지정·고시하고 있으나, 지정 후 오랜 기간이 경과함에 따라 발생하는 환경변화로 인해 수산자원보호구역의 변경 또는 일부 지역의 해제가 필요한 실정이다(MOF, 2020). 하지만 수산자원보호구역을 평가할 수 있는 객관적인 과거자료, 현장조사 지침 및 평가기준이 없어 이러한 문제점을 해결하지 못하고 있는 실정이다. 특히, 수산자원보호구역 관리요령에 의거, 보호구역 내 수질 및 퇴적물과 같은 비생물적 환경조사는 국립수산과학원을 통해 매년 수행되고 있으나, 실질적인 수산자원의 분포 및 현황 등에 대한 조사 및 연구는 제대로 수행되지 않아 기초자료가 매우 부족한 실정이다(MOF/NIFS, 2020). 따라서 수산자원보호구역의 역할과 보전가치 평가를 위한 수산자원 조사 및 기초자료의 구축은 장기적인 측면에서 수산자원보호구역의 효율적인 운영을 뒷받침할 수 있는 근거자료로서 매우 중요하다고 볼 수 있다.

오십천과 왕피천은 동해로 유입되는 독립하천으로 낙동강권역 동해수계에 위치하고 있으며, 황어(*Tribolodon hakonensis*), 은어(*Plecoglossus altivelis*) 및 연어(*Onchorhynchus keta*) 등 회유성 어종이 분포하고 다수의 수산자원이 서식함에 따라 하천의 생태적 보존 가치가 매우 높다고 판단되어 해양수산부에서 내수면 수산자원보호구역으로 지정하여 보호하고 있다(Hong *et al.*, 2016; MOF, 2020). 일반적으로 동해로 유입되는 하천은 지리적 특성상 하천의 길이가 전반적으로 짧고 경사가 급하여 어류의 생활 서식처가 다양하지 못하고, 대부분 독립하천으로 수계의 규모가 작고 연결성이 발달되지 않는다. 이러한 이유로 어류의 다양한 유전적 교류가 발생되지 않기 때문에 서해 및 남해로 유입되는 하천에 비해 상대적으로 서식하는 어종의 수가 적지만 동시에 동해수계 고유의 독특한 어류상을 지니고 있다(Nam *et al.*, 2002; Jang *et al.*, 2006).

오십천의 어류군집에 대한 연구는 Hwang *et al.* (2000), MOE/NIER (2009), Kim and Joo (2010) 등이 있으며, 왕피천의 경우 Uljin-gun (2001), Green Korea (2001), Song and Baek (2001), Kim and Ahn (2002), Chae and Yoon (2003), Kim *et al.* (2009), Hong *et al.* (2016) 등의 연구가 보고된 바 있으나, 최근 10년간 보고된 연구결과는 매우 부족하

여 수산자원보호구역인 오십천과 왕피천 유역에 대한 조사 및 연구가 필요한 실정이다. 본 연구의 목적은 오십천과 왕피천의 수산자원보호구역에 서식하는 어류를 대상으로 조사시기에 따른 주요 수산자원종의 출현 양상과 군집구조를 분석하고 수산자원보호구역의 가치 평가를 위한 기초자료를 제공하기 위함이다.

재료 및 방법

1. 조사지점

본 연구의 조사지점은 오십천 및 왕피천의 하류 구간으로 생물다양성과 수산자원의 분포가 가장 풍부할 것으로 예상되는 지점으로 선정하였으며(Fig. 1), 조사지점으로부터 하구까지의 거리는 각각 3.7 km 및 2.7 km 정도로 모두 열린하구에 해당되었다. 조사 지점의 행정구역과 위도 및 경도 정보는 다음과 같다.

오십천: 경상북도 영덕군 강구면 금호리
(N36°22'57", E129°22'38")

왕피천: 경상북도 울진군 근남면 행곡리
(N36°57'53", E129°22'54")

2. 어류 조사 방법

오십천과 왕피천에 서식하는 어류군집을 파악하기 위해 2019년 4월부터 10월까지 수환경 특성 및 홍수기 전·후 서식환경을 고려하여 총 4회(4월, 6월, 8월, 10월)에 걸쳐 어류조사를 실시하였다. 어류조사 방법은 국립수산과학원 “내수면 수산자원 및 환경조사 매뉴얼”에 따라 조사지점 기준 약 200 m 구간 내에서 투망(밀면 둘레 14 m, 망목내경 16 mm)과 족대(밀면 1 m, 높이 0.9 m, 망목내경 10 mm)를 활용하여 채집하였고, 낭장망(총 길이 10 m, 끝자루 망목내경 10 mm) 및 삼중자망(길이 50 m, 높이 1.5 m, 외망목내경 500 mm, 내망목내경 30 mm)은 설치 24시간 경과 후 수거하여 정량적인 채집이 이루어지도록 하였다(NIFS/IFRI, 2015). 채집된 어류는 현장에서 즉시 동정하였고, 전장(mm), 체장(mm) 및 체중(g)을 측정한 후 방류하였다. 종의 동정은 Kim and Park (2002), Kim *et al.* (2005), Chae *et al.* (2019)에 따랐으며 어류 목록의 배열은 Nelson (2006)의 분류체계를 따랐다.

3. 자료분석

각 지점에서 어류군집의 특성을 파악하기 위해 출현 종



Fig. 1. The map showing fish sampling sites in Osip Stream and Wangpi Stream, Korea.

수 및 개체수, 종별 생체량 등을 확인하였고, 수산자원종, 고유종 및 외래종 등에 대한 분석을 실시하였으며 수산자원종은 NIFS/IFRI (2015) 기준에 따라 구분하였다.

내성길드와 섭식길드는 MOE/NIER (2017)을 기준으로 구분하였고, 내성길드는 환경의 질적 변화에 반응하는 정도에 따라 민감종 (Sensitive species, SS), 중간종 (Intermediate species, IS) 및 내성종 (Tolerant species, TS)으로 분류하였다. 섭식길드는 잡식종 (Omnivores, O), 충식종 (Insectivores, I), 육식종 (Carnivores, C), 초식종 (Herbivores, H)으로 구분하여, 각 길드에 해당되는 종의 상대풍부도를 분석하였다.

결 과

1. 어류상 및 생체량

연구기간 동안 오십천에서는 14과 31종 971개체의 어

류가 출현하였다 (Table 1). 잉어과 (Cyprinidae) 어류가 11종 (35.5%)으로 가장 많이 출현하였고, 우점종과 아우점종은 피라미 (*Zacco platypus*, relative abundance, RA: 23.6%)와 민물검정망둑 (*Tridentiger brevispinis*, RA: 21.0%)으로 분석되었다. 고유종은 점물개 (*Squalidus multimaculatus*)와 참갈겨니 (*Zacco koreanus*) 등 5종 76개체 (RA: 7.8%)의 서식이 확인되었으며 그 밖에 법정보호종 및 외래종의 서식은 본 연구에서 확인되지 않았다. 오십천에서 채집된 어류의 총 생체량은 11,714.3 g이었고, 은어 (*Plecoglossus altivelis*)의 생체량은 총 생체량 대비 20.0%로 가장 높았으며, 그 다음으로 복섬 (*Takifugu niphobles*, 19.0%)이 두 번째로 높은 생체량을 보였다. 그 밖에 송어 (*Mugil cephalus*, 18.5%), 피라미 (11.5%), 민물검정망둑 (9.6%) 등의 순으로 높은 생체량을 나타냈다. 내성길드 분석결과 중간종의 개체수 비율이 83.7%로 가장 높았으며, 내성종 및 민감종은 각각 14.4% 및 1.9%로 낮은 수준이었다. 섭식길드 분석에서 잡식성종 (42.7%) 및 충식성종 (30.7%), 초식성종 (26.0%)이 비교적 고른 분포를 보였고, 육식성종은 0.6% 정도로 낮게 나타났다.

왕피천에서는 11과 29종 1,823개체의 어류가 출현하였고 (Table 2), 이 중 잉어과가 14종 (48.3%)으로 과별 출현 종수가 가장 많은 것으로 분석되었다. 우점종은 점물개 (RA: 41.7%), 아우점종은 피라미 (RA: 14.6%)로 확인되었고, 고유종은 돌마자 (*Microphysogobio yaluensis*)와 참갈겨니 등 6종이 출현하였으며 법정보호종 및 외래종의 서식은 확인되지 않았다. 왕피천에서 출현한 어류의 생체량은 총 26,025.2 g으로 연어 (*Oncorhynchus keta*)의 생체량은 총 생체량 대비 26.6%로 가장 높았으며, 그 다음으로 모래무지 (*Pseudogobio esocinus*, 11.9%)가 높은 생체량을 보였다. 그 밖에 은어 (9.2%), 피라미 (8.7%), 대황어 (*Tribolodon brandtii*, 8.3%) 등의 순으로 높은 생체량을 나타냈다. 내성길드 분석결과 중간종의 개체수 비율이 91.7%로 대부분을 차지하였고, 민감종은 7.2%, 내성종은 1.1%로 매우 낮은 것으로 나타났으며, 섭식길드 분석에서 잡식성종 (61.7%)의 개체수 비율이 가장 우세하였고, 그 외에 충식성종 (23.0%), 초식성종 (12.2%), 육식성종 (3.0%) 순으로 나타났다.

2. 수산자원종 및 회유성종

오십천에서 서식이 확인된 수산자원종 (NIFS/IFRI, 2015)은 총 13과 19종 663개체 (생체량 10,3332.6 g)로 나타났다. 이는 전체 출현 종수의 61.3%, 개체수는 68.3%, 생체량은 88.2%의 비율인 것으로 분석되었다. 주요 수산

Table 1. Fish fauna, compositions and biomass of fishes sampled in Osip Stream.

Scientific name	Apr.		Jun.		Aug.		Oct.		Total		RA (%)	
	N(ind.)	W(g)	N(ind.)	W(g)								
Clupeidae												
<i>Konosirus punctatus</i>			1	29.8			1	155.6	2	185.4	0.21	1.58
Cyprinidae												
<i>Cyprinus carpio</i>			2	233.5			1	56.2	3	289.7	0.31	2.47
<i>Carassius auratus</i>	2	37.0	6	167.9	4	124.0	1	41.8	13	370.7	1.34	3.16
<i>Rhodeus ocellatus</i>			4	7.5	3	7.4			7	14.9	0.72	0.13
<i>Acheilognathus rhombeus</i>					1	3.5			1	3.5	0.10	0.03
<i>Pseudorasbora parva</i>			1	4.3					1	4.3	0.10	0.04
<i>Pungtungia herzi</i>			11	36.6	5	17.1	1	4.9	17	58.6	1.75	0.50
* <i>Squalidus multimaculatus</i>	4	10.5	57	112.2	4	7.2			65	129.9	6.69	1.11
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	3	6.7	2	4.0			1	1.2	6	11.9	0.62	0.10
<i>Tribolodon hakonensis</i>	16	85.0	19	219.9	12	89.7	15	85.5	62	480.1	6.39	4.10
* <i>Zacco koreanus</i>			1	2.0					1	2.0	0.10	0.02
<i>Zacco platypus</i>	83	657.0	61	268.1	63	311.4	22	109.5	229	1,346.0	23.58	11.49
Cobitidae												
<i>Misgurnus mizolepis</i>	2	5.7							2	5.7	0.21	0.05
* <i>Iksookimia yongdokensis</i>	3	11.3	1	7.0	2	9.5			6	27.8	0.62	0.24
Siluridae												
<i>Silurus asotus</i>			1	12.8					1	12.8	0.10	0.11
Osmeridae												
<i>Plecoglossus altivelis</i>	60	638.3	50	478.8	28	583.3	24	639.0	162	2,339.4	16.68	19.97
Salmonidae												
<i>Oncorhynchus keta</i>	1	0.6							1	0.6	0.10	0.01
Mugilidae												
<i>Mugil cephalus</i>	1	43.6	16	189.9	48	372.2	21	1,566.9	86	2,172.6	8.86	18.55
Adrianichthyidae												
<i>Oryzias latipes</i>			2	1.1					2	1.1	0.21	0.01
Hemiramphidae												
<i>Hyporhamphus sajori</i>							2	98.4	2	98.4	0.21	0.84
Centropomidae												
* <i>Coreoperca herzi</i>	2	19.0			1	14.4			3	33.4	0.31	0.29
Odontobutidae												
* <i>Odontobutis platycephala</i>					1	48.8			1	48.8	0.10	0.42
Gobiidae												
<i>Chaenogobius urotaenia</i>	5	20.4	2	4.9			1	0.7	8	26.0	0.82	0.22
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	1	56.0	1	28.5	4	35.4	21	524.6	27	644.5	2.78	5.50
<i>Rhinogobius giurinus</i>							1	1.0	1	1.0	0.10	0.01
<i>Rhinogobius brunneus</i>	1	1.1							1	1.1	0.10	0.01
<i>Tridentiger obscurus</i>					2	13.9			2	13.9	0.21	0.12
<i>Tridentiger brevispinis</i>	34	206.1	116	652.2	27	115.1	27	150.1	204	1,123.5	21.01	9.59
<i>Luciogobius guttatus</i>	1	2.1							1	2.1	0.10	0.02
Tetraodontidae												
<i>Takifugu niphobles</i>	2	54.0	18	1,003.6	2	40.8	30	1,131.7	52	2,230.1	5.36	19.04
Embiotocidae												
<i>Ditrema temmincki</i>			1	7.7			1	26.8	2	34.5	0.21	0.29
Number of species	17	17	21	21	16	16	16	16	31	31		
Number of individuals	221	1,854.4	373	3,472.3	207	1,793.7	170	4,593.9	971	11,714.3		

*Korean endemic species, RA: Relative abundance (%)

Table 2. Fish fauna, compositions and biomass of fishes sampled in Wangpi Stream.

Scientific name	Apr.		Jun.		Aug.		Oct.		Total		RA(%)	
	N(ind.)	W(g)	N(ind.)	W(g)	N(ind.)	W(g)	N(ind.)	W(g)	N(ind.)	W(g)	N(ind.)	W(g)
Cyprinidae												
<i>Cyprinus carpio</i>			1	143	1	4.5			2	147.5	0.11	0.57
<i>Carassius auratus</i>	2	37.2	1	11.1	4	435.9	4	174.1	11	658.3	0.60	2.53
<i>Rhodeus ocellatus</i>	1	4.4							1	4.4	0.05	0.02
<i>Acheilognathus rhombeus</i>					1	1.2			1	1.2	0.05	0.00
<i>Pseudorasbora parva</i>	2	4.4							2	4.4	0.11	0.02
<i>Pungtungia herzi</i>	30	196.9	96	768.2	28	60.6	32	223.6	186	1,249.3	10.20	4.80
* <i>Squalidus multimaculatus</i>	24	108.7	304	1,052.6	388	685.5	44	87.3	760	1,934.1	41.69	7.43
<i>Hemibarbus longirostris</i>	1	33	18	473	7	3.3	4	101.3	30	610.6	1.65	2.35
<i>Pseudogobio esocinus</i>	3	51.1	65	2,363.7	5	157.6	10	521.8	83	3,094.2	4.55	11.89
* <i>Microphysogobio yaluensis</i>	5	8.3	7	15.9	1	4.7	1	0.4	14	29.3	0.77	0.11
<i>Tribolodon hakonensis</i>	2	15.2	28	235.7	13	21.1	22	390.1	65	662.1	3.57	2.54
<i>Tribolodon brandtii</i>	3	2,164.6							3	2,164.6	0.16	8.32
* <i>Zacco koreanus</i>	6	87.7	23	126	25	151.5	17	344.2	71	709.4	3.89	2.73
<i>Zacco platypus</i>	19	190	86	594.6	28	147.3	133	1,330.2	266	2,262.1	14.59	8.69
Cobitidae												
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>					1	6.3			1	6.3	0.05	0.02
<i>Misgurnus mizolepis</i>	1	3.7					1	19.2	2	22.9	0.11	0.09
<i>Cobitis hankugensis</i>	4	24.5	20	128.4	3	15.3	4	30.9	31	199.1	1.70	0.77
Siluridae												
<i>Silurus asotus</i>			1	890.1					1	890.1	0.05	3.42
Amblycipitidae												
* <i>Liobagrus mediadiposalis</i>	2	10.8	3	13	2	14.4	1	8.5	8	46.7	0.44	0.18
Osmeridae												
<i>Plecoglossus altivelis</i>	143	1,083.2	17	150	16	140.8	46	1,028.4	222	2,402.4	12.18	9.23
Salmonidae												
<i>Oncorhynchus keta</i>	1	0.7					4	6,921	5	6,921.7	0.27	26.60
<i>Oncorhynchus masou masou</i>			1	542.2			1	502.3	2	1,044.5	0.11	4.01
Mugilidae												
<i>Mugil cephalus</i>							1	251.4	1	251.4	0.05	0.97
Lateolabracidae												
<i>Lateolabrax maculatus</i>					1	7.1			1	7.1	0.05	0.03
Centropomidae												
* <i>Coreoperca herzi</i>	3	75.4	16	187.6	13	162.2	2	39.8	34	465	1.87	1.79
Odontobutidae												
* <i>Odontobutis platycephala</i>	2	29.8	4	52.6	5	96.9	1	9.3	12	188.6	0.66	0.72
Gobiidae												
<i>Chaenogobius urotaenia</i>	1	17.5	3	21.1					4	38.6	0.22	0.15
<i>Tridentiger brevispinis</i>							1	4	1	4	0.05	0.02
<i>Rhinogobius brunneus</i>	1	3.2	2	2.1					3	5.3	0.16	0.02
Number of species	21	21	19	19	18	18	19	19	29	29		
Number of individuals	256	4150.3	696	7,770.9	542	2,116.2	329	11,987.8	1823	26,025.2		

*Korean endemic species, RA: Relative abundance (%)

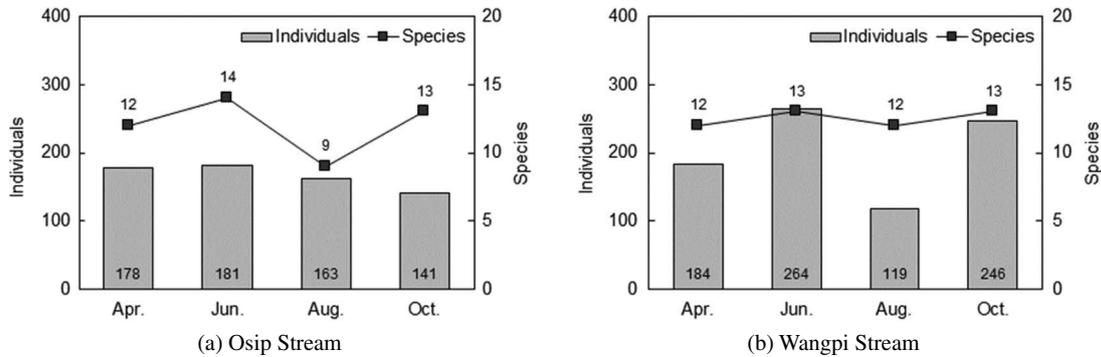


Fig. 2. Variations of fish species and compositions in fishery resources species.

Table 3. Relative abundance of migration species in Osip Stream and Wangpi Stream.

Station	Species	Life type	Relative abundance (%)			
			Apr.	Jun.	Aug.	Oct.
Osip stream	<i>Tribolodon hakonensis</i>	Anadromous	7.2	5.1	5.8	8.8
	<i>Plecoglossus altivelis</i>	Amphidromous	27.1	13.4	13.5	14.1
	<i>Oncorhynchus keta</i>	Anadromous	0.5	-	-	-
Wangpi stream	<i>Tribolodon hakonensis</i>	Anadromous	0.8	4.0	2.4	6.7
	<i>Tribolodon brandtii</i>	Anadromous	1.2	-	-	-
	<i>Plecoglossus altivelis</i>	Amphidromous	55.9	2.4	3.0	14.0
	<i>Oncorhynchus keta</i>	Anadromous	0.4	-	-	1.2
	<i>Oncorhynchus masou masou</i>	Anadromous	-	0.1	-	0.3

자원종으로 피라미 (35.0%), 은어 (24.7%), 송어 (13.1%), 황어 (9.5%) 등의 순으로 높은 상대풍부도를 보였고, 생체량의 경우 은어 (22.7%), 복섬 (21.6%), 송어 (21.1%), 피라미 (13.1%) 등의 순으로 확인되었다. 시기별 수산자원종 출현 양상을 분석한 결과에 따르면, 4월에 12종 178개체, 6월 14종 181개체, 8월 9종 163개체, 10월 13종 141개체로 6월 조사에서 출현 종수 및 개체수가 상대적으로 높게 나타났다 (Fig. 2). 생체량의 경우 송어, 복섬, 문절망둑 (*Acanthogobius flavimanus*) 이 다수 출현한 10월에 4,437.9 g으로 가장 높았고, 4월 (1,623.3 g) 및 8월 (1,620.0 g)은 상대적으로 낮게 나타났다. 오십천에서 출현한 31종의 어류는 생활형 (Life type)에 따라 1차담수어 18종, 4종의 회유성종 (Migration species) 및 9종의 주변성종 (Peripheral species)으로 구분되었고, 회유성종인 연어 (소하성, Anadromous)는 4월에 치어 1개체만 출현하였으나 은어 (양측 회유성, Amphidromous)는 4월 (27.1%)에 출현빈도가 높은 것으로 확인되었다 (Table 3).

왕피천에서 수산자원종으로 구분되는 어류는 총 10과 18종 813개체 (생체량 20,344.2 g)였으며, 출현 종수는 전

체의 62.1%, 개체수는 44.6%, 생체량은 78.2%의 비율이었다. 왕피천의 주요 수산자원종은 피라미 (14.6%), 은어 (12.2%), 모래무지 (4.6%), 참갈겨니 (3.9%) 등으로 확인되었고, 생체량은 연어 (26.6%), 모래무지 (11.9%), 은어 (9.2%), 피라미 (8.7%) 등의 순으로 나타났다. 시기별 수산자원종 출현 종수는 12~13종의 범위로 큰 차이를 보이지 않았으며, 개체수의 경우 6월 및 10월에 가장 풍부한 것으로 확인되었다 (Fig. 2). 왕피천에서 출현한 어류는 생활형에 따라 1차담수어 21종, 회유성 어류 6종, 주변성 어류 2종으로 구분되었고, 양측회유성 어종인 은어는 4월에 상대풍부도 55.9%로 높게 나타났으나 6월과 8월에 출현빈도가 낮아진 후 10월 (14.0%)에 다소 증가하는 것으로 확인되었다. 소하성 회유종인 황어는 전체 시기에서 모두 출현하였으며, 상대풍부도는 10월 (6.7%)에 가장 높았고, 4월 (0.8%)에 가장 낮은 것으로 확인되었다 (Table 3).

3. 어류상 변화

오십천에서 본 연구와 동일한 지점에서 수행한 선행

Table 4. The changes of ichthyofauna in Osip Stream from 2000 to 2019.

Scientific name	References			Present study	Remarks*
	2000 ¹	2009 ²	2010 ³		
Clupeidae					
<i>Konosirus punctatus</i>		10		2	Ph, F
Anguillidae					
<i>Anguilla japonica</i>	9				Ca
Cyprinidae					
<i>Cyprinus carpio</i>	1		1	3	F
<i>Carassius auratus</i>	10		18	13	F
<i>Rhodeus ocellatus</i>				7	
<i>Acheilognathus rhombeus</i>				1	
<i>Pseudorasbora parva</i>	18		11	1	
<i>Pungtungia herzi</i>			25	17	
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	20				Ke
<i>Squalidus multimaculatus</i>			52	65	Ke
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	22		10	6	F
<i>Tribolodon hakonensis</i>	38	71	12	62	An, F
<i>Zacco temminckii</i>	18				F
<i>Zacco koreanus</i>			93	1	Ke, F
<i>Zacco platypus</i>	12		201	229	F
Cobitidae					
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	10				F
<i>Misgurnus mizolepis</i>				2	F
<i>Iksookimia longicorpa</i>	3				Ke
<i>Iksookimia yongdokensis</i>			15	6	Ke
Siluridae					
<i>Silurus asotus</i>				1	F
Amblycipitidae					
<i>Liobagrus mediadiposalis</i>			1		Ke
Osmeridae					
<i>Hypomesus nipponensis</i>		3			An, F
<i>Plecoglossus altivelis</i>	52		25	162	Am, F
Salmonidae					
<i>Oncorhynchus keta</i>				1	An, F
Mugilidae					
<i>Mugil cephalus</i>		43		86	Ph, F
Adrianichthyidae					
<i>Oryzias latipes</i>		15		2	
Hemiramphidae					
<i>Hyporhamphus sajori</i>				2	Ph, F
Gasterosteidae					
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	11				An
Platycephalidae					
<i>Platycephalus indicus</i>		1			Ph, F
Centropomidae					
<i>Coreoperca herzi</i>				3	Ke, F
Leiognathidae					
<i>Nuchequula nuchalis</i>		14			Ph

Table 4. Continued.

Scientific name	References			Present study	Remarks*
	2000 ¹	2009 ²	2010 ³		
Gerreidae					
<i>Gerres oyena</i>		1			Ph
Odontobutidae					
<i>Odontobutis platycephala</i>	11		3	1	Ke, F
Gobiidae					
<i>Chaenogobius castaneus</i>		55			Ph
<i>Chaenogobius urotaenia</i>	46		26	8	Am, F
<i>Acanthogobius flavimanus</i>		22		27	Ph, F
<i>Acanthogobius lactipes</i>		25			Ph
<i>Rhinogobius giurinus</i>				1	Ph
<i>Rhinogobius brunneus</i>	9		35	1	
<i>Tridentiger obscurus</i>				2	Ph
<i>Tridentiger brevispinis</i>	105	90	38	204	
<i>Luciogobius guttatus</i>				1	Ph
Tetraodontidae					
<i>Takifugu niphobles</i>		3		52	Ph, F
Embiotocidae					
<i>Ditrema temmincki</i>				2	Ph, F
Number of species	17	13	16	31	

References: Hwang *et al.* (2000), MOE/NIER(2009), Kim and Joo (2010)

*Ke: Korean endemic species, En: Endangered species, Ca: Catadromous fish, Am: Amphidromous fish, An: Anadromous fish, Ph: Peripheral fish, F: Fisheries resource species

연구 결과를 비교하면 종수는 본 연구에서 31종, Hwang *et al.* (2000) 17종, MOE/NIER (2009) 13종, Kim and Joo (2010)은 16종으로 확인되어 수산자원보호구역에 해당하는 오십천 하류 구간만을 분석 대상으로 한정했을 때 본 연구에서 가장 많은 종이 출현한 것으로 확인되었다 (Table 4). 본 연구에서 흰줄납줄개 (*Rhodeus ocellatus*), 납지리 (*Acheilognathus rhombeus*), 미꾸라지 (*Misgurnus mizolepis*) 등 11종의 서식이 추가로 확인되었고, 전체 연구 결과를 종합한 결과 오십천 하류에 서식하는 어류는 총 20과 44종인 것으로 분석되었다. 황어와 민물검정망둑은 조사년도에 상관없이 모든 연구에서 출현하여 안정적인 개체군을 유지하는 것으로 확인되었고, 뱀장어, 긴물개, 큰가시고기 (*Gasterosteus aculeatus*)의 경우 Hwang *et al.* (2000)의 연구에서 출현한 이후 서식이 확인되지 않는 것으로 나타났다. 전체 출현어류 중 수산자원종이 차지하는 비율은 본 연구의 출현 종수(61.3%) 및 개체수(68.3%)와 비교할 때 모든 연구들 간에 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다(Fig. 3). 어류군집의 내성종(TS) 및 잡식성(O) 비율의 변화를 분석한 결과, 서식환경의 질적 하강에 따라

증가 경향을 나타내는 내성종(TS)의 개체수 비율은 5.3~22.7% 범위로 낮게 유지되고 있었고, 섭식길드의 잡식성종(O) 비율은 Hwang *et al.* (2000)의 연구에서 22.5%였으나, Kim and Joo (2010) 52.1%, 본 연구에서 40.0%로 다소 증가된 것으로 확인되었다(Fig. 4).

왕피천의 경우, 본 연구와 선행연구 결과를 비교하면 출현 종수는 Hong *et al.* (2016)의 연구에서 32종으로 가장 높게 나타났고, 본 연구에서 29종, Kim and Ahn (2002) 14종, Chae and Yoon (2003) 20종, Kim *et al.* (2009) 19종이 출현한 것으로 확인되었다(Table 5). 본 연구에서는 납지리, 산천어 (*Oncorhynchus masou masou*), 점농어 (*Lateolabrax maculatus*) 3종의 서식이 추가로 확인되었고, 전체 연구 결과를 종합하면 15과 45종의 어류가 왕피천 하류에 서식하는 것으로 나타났다. 붕어 (*Carassius auratus*), 점물개, 모래무지, 피라미, 은어, 꼭저구 (*Gymnogobius urotaenia*), 밀어 (*Rhinogobius brunneus*), 민물검정망둑 등 8종은 전체 조사에서 모두 출현하여 개체군이 안정된 것을 확인하였고, 멸종위기야생생물 II급인 다목장어 (*Lethenteron reissneri*) 및 한독중개 (*Cottus hangiongensis*)는 이전 연구에서 각각 1

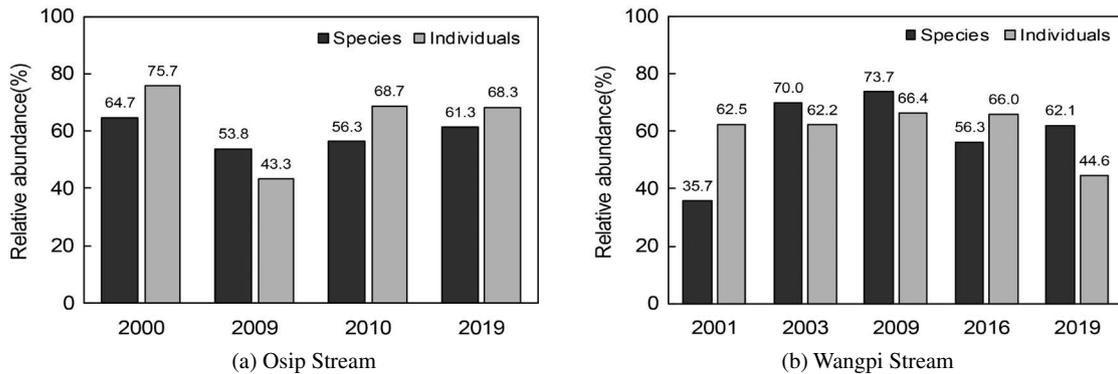


Fig. 3. Long-term analysis of the number of species and individuals in fishery resources species.

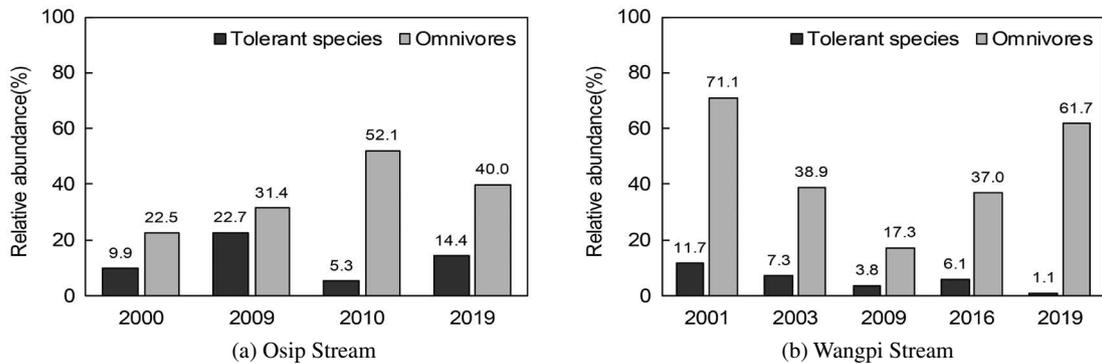


Fig. 4. Changes in the relative abundance of tolerant species and omnivores.

개체 및 11개체가 출현하였으나, 본 연구에서는 서식이 확인되지 않았다. 왕피천에 서식하는 수산자원종의 개체군 변화는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 Kim and Ahn (2002)의 연구에서 출현 종수 비율이 35.7%로 낮았으나 이후 50% 이상으로 유지되고 있었으며, 개체수 비율은 본 연구에서 우점종으로 출현한 점물개로 인해 다소 감소된 것으로 확인되었다. 내성도 및 섭식길드 분석결과 내성종(TS)의 개체수 비율은 1.1~11.7%의 범위로 낮았으며, 잡식성종(O)은 Kim *et al.* (2009)의 연구에서 17.3%로 가장 낮았으나 이후 증가된 경향을 나타냈다(Fig. 4).

고찰

오십천과 왕피천에서 출현한 어류는 각각 14과 31종 971개체 및 11과 29종 1,823개체로 나타났으며, 일반적으로 동해로 유입되는 하천에서 잉어과 어류의 구성비가 높지 않은 특징과 일치하는 경향을 보였다(Byeon and Oh, 2015). 고유종(Korea endemic species)은 해당 수계 생물상

의 특징과 수환경 및 생물서식 특성을 파악할 수 있는 기준이 되는데(Hur *et al.*, 2011), 오십천과 왕피천에서 확인된 고유종 구성비는 각각 16.1% 및 24.1%로 나타났다. 우리나라 전체 담수어의 고유화 빈도인 28.8% (Kim, 2005) 및 28.4% (Son and Song, 2006)에 비해 다소 낮게 나타났는데 이는 동해 수계의 지리적 및 지형적 특성으로 인해 고유종이 형성될 확률이 낮은 근본적인 원인(Nam *et al.*, 2002)과 본 연구 대상지가 염분의 영향을 받는 하류 구간에 위치하여 1차 담수어가 대부분인 고유종의 서식 가능성이 상대적으로 낮기 때문인 것으로 판단되었다.

오십천 하류 지점에서 수행한 선행연구에서 출현한 어류의 종수는 Hwang *et al.* (2000)이 17종(1지점/6회), MOE/NIER (2009) 13종(1지점/2회), Kim and Joo (2010)는 16종(1지점/2회)으로 보고된 바 있으며, 본 조사에서 31종(1지점/4회)이 채집되어 상대적으로 많은 종이 확인되었다. 이러한 결과는 낭장망과 자망 등 이전 조사에서는 사용하지 않았던 어구를 추가하여 조사를 수행했기 때문에 하구역을 중심으로 생활하는 주연성 및 야행성 어류 등이 상대적으로 많이 채집되어 나타난 결과로 보여진다. 왕피천의 경

Table 5. The changes of ichthyofauna in Wangpi Stream from 2001 to 2019.

Scientific name	References				Present study	Remarks*
	2001 ¹	2003 ²	2009 ³	2016 ⁴		
Petromyzonidae						
<i>Lethenteron reissneri</i>				1		En
Cyprinidae						
<i>Cyprinus carpio</i>		1		6	2	F
<i>Carassius auratus</i>	13	12	4	20	11	F
<i>Rhodeus uyekii</i>	6					Ke
<i>Rhodeus ocellatus</i>	7			1	1	
<i>Acheilognathus rhombeus</i>					1	
<i>Acanthorhodeus gracilis</i>	3					Ke
<i>Pseudorasbora parva</i>	2			2	2	
<i>Pungtungia herzi</i>		12	63	35	186	
<i>Squalidus multimaculatus</i>	17	25	27	51	760	Ke
<i>Hemibarbus labeo</i>		2	4			F
<i>Hemibarbus longirostris</i>		7	21	2	30	F
<i>Pseudogobio esocinus</i>	1	11	23	4	83	F
<i>Microphysogobio yaluensis</i>		1	5	14	14	Ke
<i>Tribolodon hakonensis</i>		1	7	102	65	An, F
<i>Tribolodon brandtii</i>					3	An
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>			35			
<i>Zacco temminckii</i>		19				F
<i>Zacco koreanus</i>			54		71	Ke, F
<i>Zacco platypus</i>	43	58	9	112	266	F
<i>Hemiculter eigenmanni</i>				1		
Cobitidae						
<i>Misgurnus mizolepis</i>			3	4	2	F
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>		4			1	F
<i>Cobitis hankugensis</i>	2	32			31	Ke
Siluridae						
<i>Silurus asotus</i>			1	1	1	F
Bagridae						
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>				1		F
Amblycipitidae						
<i>Liobagrus mediadiposalis</i>				7	8	Ke
Osmeridae						
<i>Hypomesus nipponensis</i>		1				An, F
<i>Plecoglossus altivelis</i>	15	20	31	137	222	Am, F
Salmonidae						
<i>Oncorhynchus keta</i>				49	5	An, F
<i>Oncorhynchus masou</i>					2	An, F
Mugilidae						
<i>Mugil cephalus</i>				15	1	Ph, F
<i>Chelon haematocheilus</i>				1		Ph, F
Moronidae						
<i>Lateolabrax maculatus</i>					1	Ph, F
Cottidae						
<i>Cottus hangionensis</i>	1			10		En, Ke, Am

Table 5. Continued.

Scientific name	References				Present study	Remarks*
	2001 ¹	2003 ²	2009 ³	2016 ⁴		
Centropomidae						
<i>Siniperca scherzeri</i>				1		F
<i>Coreoperca herzi</i>		1	8	17	34	Ke, F
Odontobutidae						
<i>Odontobutis platycephala</i>		3	1	5	12	Ke, F
Gobiidae						
<i>Chaenogobius urotaenia</i>	8	23	10	100	4	Am, F
<i>Acanthogobius lactipes</i>				8		Ph
<i>Rhinogobius brunneus</i>	9	8	6	78	3	
<i>Tridentiger obscurus</i>				1		Ph
<i>Tridentiger brevispinis</i>	1	21	6	87	1	
<i>Luciogobius guttatus</i>				2		Ph
Channidae						
<i>Channa argus</i>				1		F
Number of species	14	20	19	32	29	

References: Kim and Ahn (2002), Chae and Yoon (2003), Kim *et al.* (2009), Hong *et al.* (2016)

*Ke: Korean endemic species, En: Endangered species, Ca: Catadromous fish, Am: Amphidromous fish, An: Anadromous fish, Ph: Peripheral fish, F: Fisheries resource species

우도 Kim and Ahn (2002) 14종(2지점/2회), Chae and Yoon (2003) 20종(1지점/2회), Kim *et al.* (2009) 19종(1지점/4회) 등이었고, NIFS/IFRI (2015)의 방법에 따라 낭장망과 자망을 추가로 사용한 Hong *et al.* (2016)과 본 조사에서는 각각 32종(1지점/4회) 및 29종(1지점/4회)이 출현하여 내수면 수산자원조사 방법으로서 높은 효율성을 확인할 수 있었다.

왕피천에서 수행된 선행연구에서 확인된 우점종은 Kim and Ahn (2002) 및 Chae and Yoon (2003)은 피라미, Kim *et al.* (2009)은 돌고기(*Pungtungia herzi*), Hong *et al.* (2016)은 은어로 나타났는데, 해당 종들은 본 조사에서 모두 상대풍부도 10.0% 이상으로 확인되어 어류군집의 변동성은 크지 않은 것으로 판단되었다. 또한, 선행연구와 본 연구를 모두 포함하여 어류상을 종합한 결과, 오십천과 왕피천에 분포하거나 서식할 것으로 예상되는 어류는 오십천 20과 44종 및 왕피천 15과 45종으로 수산자원보호구역인 하류 구간만을 대상으로 연구를 진행했음에도 불구하고 높은 생물다양성을 나타내었다. 또한, 수생태계를 교란시켜 어류상을 단순화시키는 배스(*Micropterus salmoides*)나 블루길(*Lepomis macrochirus*)과 같은 외래종 및 생태계교란종의 출현 기록이 확인되지 않아 어류군집의 다양성 및 건강성이 양호한 상태를 유지하고 있는 것으로 판단되었다

(Jang *et al.*, 2006; Song *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2013).

본 연구와 선행연구에서 출현한 어류 중 NIFS/IFRI (2015)의 기준에 의거하여 분류된 수산자원종은 오십천이 15과 24종, 왕피천은 12과 26종으로 확인되었다(Tables 4, 5). 수산자원종의 종수 및 개체수 비율에서 변동성은 크지 않았으며, 피라미, 황어, 은어 3종은 오십천과 왕피천에서 모두 안정적인 개체군이 유지되고 있어 수환경의 큰 변화는 나타나지 않은 것으로 추정할 수 있었다. 특히, 수산자원종인 은어는 오십천과 왕피천에서 개체수 및 생체량의 비율이 높게 나타났다. 은어는 겨울철 연안에서 치어기를 보내고 봄철에 강으로 소상하여 성장하며 가을철에 강 하류로 내려와 산란하는 1년생 어류로 알려져 있으며(Nishida, 1986; Kim *et al.*, 2005), 산란기인 9~10월경 하류로 이동하고, 산란 후 4~5월경 다시 서식지로 이동하는 양측회유성 어종이다(Goto, 1988; Kim *et al.*, 2005). 본 연구에서 은어는 4월에 집중적인 출현 양상을 나타냈으며, 오십천과 왕피천에서 은어의 평균 생체량은 4월에 각각 10.6g 및 7.6g로 낮았으나 10월은 26.6g 및 22.4g으로 증가하여 이러한 생활사 및 이동특성이 반영된 결과를 확인할 수 있었다.

어류군집 및 개체군 평가에 있어 생태지표종(Tolerance indicator) 분석법은 서식지의 물리·화학적인 질적 수준

과 경향을 판단하는데 유용하며, 내성종(TS)과 잡식종(O)은 유기물 오염, 서식지 파괴 등과 같은 서식지의 물리·화학적 질적 하강과 이·화학적 수질악화 등에 따라 증가하는 경향을 보이는 것으로 알려져 있다(Karr, 1981; US EPA, 1991; Park *et al.*, 2019). 본 연구에서 확인된 내성종의 비율은 오십천에서 14.4%, 왕피천에서 1.1%로 매우 낮은 수준으로 나타나 선행연구와 비교하여 큰 변화는 나타나지 않아 서식환경의 양호한 상태를 간접적으로 확인할 수 있었다(Fig. 4). 잡식종의 경우 피라미와 점물개 등 특정 종의 출현에 따라 시기별 변동성을 보였지만, 잡식종과 반대의 경향을 나타내는 충식종의 출현빈도가 오십천과 왕피천 모두에서 높게 나타나 어류군집의 안정도가 높은 것으로 판단되었다.

왕피천의 중·상류 지역은 2005년 생태·경관보전지역, 2006년 완충 및 전이 구역으로 지정·고시되어 어류 서식환경이 양호한 상태로 유지·관리되고 있으며(MOE, 2006), 또한, 오십천과 왕피천은 열린하구로서 물질순환과 생물이동이 원활하고, 서식지 다양성이 높게 나타나는 특성(Rho and Lee, 2014) 등으로 인해 동해수계의 다른 하천과 비교하여 가장 많은 수준의 종이 확인되고 있어(Hong *et al.*, 2016), 수산자원보호구역으로서의 기능 및 보존 가치가 매우 높은 것으로 판단된다. 이처럼 수산자원의 보전 및 지속적인 이용을 위해 외래종 및 이입종 등 생물학적 교란요인에 대한 관리, 환경수용력을 고려한 수산자원 방류사업, 회유성종 등 어류의 생활사를 고려한 물리적 서식환경 개선, 장기적인 수산자원조사를 통한 기초자료 구축 등이 중요할 것으로 판단된다.

적 요

본 연구의 목적은 오십천과 왕피천 수산자원보호구역에 서식하는 어류를 대상으로 어류군집특성과 수산자원종의 분포현황을 분석하고 수산자원보호구역의 가치 평가를 위한 기초자료를 제공하기 위함이다. 본 연구에서는 오십천과 왕피천 수산자원보호구역에서 2019년 4월부터 10월까지 시기별로 총 4회 조사하였다. 오십천과 왕피천에서 각각 31종, 29종의 어류가 출현하였고, 우점종은 피라미(28.6%)와 점물개(41.7%)로 나타났다. 각 하천에서 출현한 어류를 생활형(Life type)에 따라 구분하면, 오십천에서 일차담수어 18종(58.1%), 회유성종 4종(12.9%), 왕피천에서 일차담수어 21종(72.4%), 회유성종 6종(20.7%)으로 확인되었다. 수산자원종은 6월에 개체수가 풍부하였고, 10월에 생체량이 높은 경향을 보였다. 선행연구와 본 연구

를 종합하여 분석한 결과, 오십천과 왕피천의 하류에 서식하고 있는 어류는 각각 44종 및 45종으로 높은 생물다양성을 나타내었고, 황어, 은어, 민물검정망둑 등은 안정적인 개체군을 유지하는 것으로 나타났다. 생물지표종 분석결과 내성종 비율은 오십천이 14.4%, 왕피천은 1.1%로 매우 낮은 수준으로 나타나 서식환경의 양호한 상태를 확인할 수 있었다. 다양한 분석을 종합한 결과, 오십천과 왕피천의 수산자원보호구역은 기능 및 보존 가치가 높은 것으로 사료되었으며, 지속적인 이용 및 관리를 위해 생물학적 교란요인에 대한 관리, 환경수용력을 고려한 수산자원 방류사업, 어류의 생활사를 고려한 물리적 서식환경 개선, 장기적인 수산자원조사를 통한 기초자료 구축 등이 중요할 것으로 판단된다.

저자정보 김경훈(주식회사 다운에코 차장), 이진왕(주식회사 다운에코 차장), 조영빈(주식회사 다운에코 과장), 임재현(국립수산과학원 연구사), 최지웅(주식회사 다운에코 이사)

저자기여도 개념설정: 최지웅, 김경훈, 임재현, 현장조사: 김경훈, 이진왕, 조영빈, 최지웅, 자료분석: 김경훈, 이진왕, 조영빈, 임재현, 최지웅, 원고작성: 김경훈, 최지웅

이해관계 본 논문에는 이해충돌의 여지가 없습니다.

연구비 본 연구는 국립수산과학원의 연안어장 환경 조사 및 변동 연구(R2023014)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Byeon, H.K. and J.K. Oh. 2015. Fluctuation of fish community and inhabiting status of introduced fish in Gangeungnam-dae Stream, Korea. *Korean Journal of Environmental Ecology* **29**(5): 718-728.
- Chae, B.S. and H.N. Yoon. 2003. Uijin Wangpi Stream nature ecosystem survey report. National Institute of Environ Research, p. 139-170.
- Chae, B.S., H.B. Song and J.Y. Park. 2019. A field guide to the freshwater fishes of Korea. LG Evergreen Foundation, Seoul, Korea.
- Eom, Y.S. 2015. Measuring benefits of providing water for environmental improvement in Yeongdok Ohsip River: Considering protest bids and distance-decay function in the application of CVM. *Korean Resource Economics Association* **24**(2): 435-461.
- Goto, A. 1988. Reproductive behavior and homing after downstream spawning migration in the River Sculpin, *Cottus hangiongensis*. *Japanese Journal of Ichthyology* **34**(4): 488-496.

- Green Korea. 2001. Wangpicheon Natural Ecological Environment Survey Report-fish, p. 229-248.
- Hong, Y.K., K.H. Kim, K.M. Kim, G.H. Lim, M.Y. Song and W.O. Lee. 2016. Characteristics of fish fauna and community structure in Wangpi Stream. *Korean Journal of Environment and Ecology* **30**(5): 874-887.
- Hur, J.W., H.K. Kang and M.H. Jang. 2011. Investigation on physical habitat condition and fish fauna in Dal stream of Han River Basin. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* **33**(8): 564-571.
- Hwang, C.S. and H. Hur. 2000. Fish Migration through Fishways on Namdae-cheon in Yangyang and Osib-cheon in Yungdeok. *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers* **42**(5): 70-77.
- Jang, M.H., G.J. Joo and M.C. Lucas. 2006. Diet of introduced largemouth bass in Korean Rivers and potential interactions with native fishes. *Ecology of Freshwater Fish* **15**: 315-320.
- Kang, S.K. 2017. A study on the Estimation of Conservation Value of Fisheries Resource Protected Area using CVM. *The Journal of Fisheries Business Administration* **48**(2): 33-51.
- Karr, J.R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* **6**: 21-27.
- Kim, B.J. and J.H. Ahn. 2002. The Freshwater Fishes of Uljin Ulryeon Mountain. The second national environment investigation of freshwater fish, p. 450-518.
- Kim, H.M., J.H. Kil, E.H. Lee and K.G. 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 Journal of Limnology* **46**: 541-550.
- Kim, I.S. 2005. Distribution and ecology of freshwater fish native to Korea. *Proceedings of the Korean Society of Environment and Ecology Conference*, p. 3-5.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. Freshwater fish of Korea. Kyo-Hak Publishing Co., Ltd., Seoul, Korea.
- Kim, I.S., Y. Choi, C.L. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim. 2005. Illustrated book of Korean fishes. Kyo-Hak Publishing Co., Ltd., Seoul, Korea.
- Kim, J.M. and Y.D. Joo. 2010. The freshwater fishes of Yeongdeok. The third national environment investigation of freshwater fish, p. 19-22.
- Kim, K.H., J.S. Cha and H.C. Park. 2009. Ichthyofauna and structure of the fish community in Wangpi Stream, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **21**(1): 47-54.
- MOE. 2006. Change and notice of ecological scenery preservation region in Wangpi-cheon. Ministry of Environment, Nature Policy Division, Gwacheon, Korea.
- MOE/NIER. 2009. Investigation of estuary ecosystems. Ministry of Environment/National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea.
- MOE/NIER. 2017. Bio-monitoring survey and assessment manual. National Institute of Biological Resources, Korea.
- MOF. 2020. Management laws of fisheries resources (Law No. 17052). Ministry of Oceans and Fisheries, Sejong, Korea.
- MOF/NIFS. 2020. Operation of fishery resource protection area management system. Ministry of Oceans and Fisheries/National Institute of Fisheries Science, Busan, Korea.
- Nam, M.M., Y.H. Kang, B.S. Chae and H.J. Yang. 2002. On the geographical distribution of freshwater fishes in the Gagog and Maeup Streams flowing into the East Sea, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **14**(4): 269-277.
- Nelson, J.S. 2006. Fishes of the world 4th edition. John Wiley and Sons, Inc., New York, 601pp.
- NIFS/IFRI. 2015. Inland fisheries resources and environment survey manual. National Institute of Fisheries Science/Inland Fisheries Research Institute, Gapyeong, Korea.
- Nishida, M. 1986. Geographic variation in the molecular, morphological and reproductive characters of the ayu, *Plecoglossus altivelis* (Plecoglossidae) in the Japan Ryu kyu Archipelago. *Japanese Journal of Ichthyology* **33**(3): 232-248.
- Park, S.D. 2001. Assessment of ascending capacity of migratory fish in fishways by eco-hydraulic experiments (II). *Korea Water Resources Association* **34**(4): 381-390.
- Park, Y.J., S.J. Lee and K.G. An. 2019. Analysis of fish ecology and water quality for health assessments of Geum-River watershed. *Korean Journal of Environment and Ecology* **33**(2): 187-201.
- Rho, B.H. and C.H. Lee. 2014. Spatial distribution and temporal variation of estuarine wetlands by estuary type. *Journal of the Korean Geographical Society* **49**(3): 321-338.
- Son, Y.M. and H.B. Song. 2006. Freshwater fishes of Geum River, Korea. Jisungsa. Seoul, Korea. 239pp.
- Song, H.B. and H.M. Baek. 2001. The Freshwater Fishes of Bongwha, Uljin and Tonggo Mountain. The Second National Environment Investigation of Freshwater Fish, p. 309-352.
- Song, H.B., M.S. Byeon, D.W. Kang, C.Y. Jang, J.S. Moon and H.K. Park. 2012. Population structure of bluegill, *Lepomis macrochirus* in Lakes of the Han River System, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **24**: 278-286.
- Uljin-gun. 2001. A Comprehensive Report on the Underwater Ecosystem of Wangpicheon Stream.
- US EPA. 1991. Technical support document for water quality-based toxic control. EPA 505-2-90-001. US EPA, Office of Water, Washington D.C., USA.