

Original article

섬진강 수계 어류군집 특성과 우점종 피라미(*Zacco platypus*)의 전장 - 체중 관계 분석

이선호¹ · 김효겸² · 조현빈³ · 곽인실^{1,2,*}

¹전남대학교 해양융합과학과, ²전남대학교 수산과학연구소, ³부산대학교 환경·에너지연구소

Characteristics of Fish Communities and Length-weight Relationships of Dominant Species (*Zacco platypus*) in Seomjin River. Sun Ho Lee¹ (0000-0002-3820-8515), Hyo Gyeom Kim² (0000-0003-3634-7359), Hyunbin Jo³ (0000-0001-8064-7880) and In-Sil Kwak^{1,2,*} (0000-0002-1010-3965) (¹Department of Ocean Integrated Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea; ²Fisheries Science Institute, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea; ³Institute for Environment and Energy, Pusan National University, Busan 46241, Republic of Korea)

Abstract As fish communities are sensitive to natural environmental changes as well as anthropogenic pressures, their composition and characteristics help us to assess the aquatic ecosystem health. The fish fauna and the length-weight relationship of *Zacco platypus* in the Seomjin River system were investigated from July 2018 to May 2019. The collected species during the survey period were 49 species belong to 14 families including 19 Korean endemic and two endangered species. According to Bray-Curtis similarities, 14 sites were divided into four groups based on the fish community composition; two groups (group A, B) and two uncategorized sites (group C, D). There were significant differences between groups A and B (analysis of similarities, $R = 0.722$, $p = 0.002$). A similarity percentage analysis revealed that *Z. koreanus* (8.55%), *Micropterus salmoides* (6.90%), and *Lepomis macrochirus* (4.90%) contributed to these differences of fish assemblages between group A and B. Group A showed higher relative abundances of exotic species such as *M. salmoides* and *L. macrochirus*, while *Z. platypus* and *Z. koreanus* which are the common species in Korea, were the most dominant species in group B. Based on the length-weight relationship of *Z. platypus*, b values were varied from 2.82 to 3.80, indicating that growth patterns of the species were spatially different. This study could be served as baseline data for understanding fish fauna, assessing habitat characteristics based on the fauna, and identifying health conditions of *Z. platypus* in the Seomjin River system.

Key words: Seomjin River, fish fauna, similarity percentage analysis, analysis of similarities, *Zacco platypus*, length-weight relationships

서론

Manuscript received 12 March 2021, revised 24 March 2021,
revision accepted 24 March 2021
* Corresponding author: Tel: +82-61-659-7148, Fax: +82-61-659-7149
E-mail: inkwak@hotmail.com, iskwak@chonnam.ac.kr

어류군집은 자연적인 환경 변화뿐만 아니라 인위적 교란에 민감하게 반응하기 때문에 어류상 및 군집 분석을 통해 수생태계의 서식처 건강성을 종합적으로 평가할 수 있다

© 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.

(Lee *et al.*, 2014). 특히 어류는 수환경에 따라 다양한 반응을 보이며 오염원에 대해 단시간의 생리·화학적 반응을 통해 발생된 조직 및 기관 내의 변화를 보이기 때문에 수환경의 갑작스러운 변화는 어류군집 구조에 큰 영향을 미치게 된다(Adams, 2002; Seo, 2005). 또한, 담수 생태계의 고차 소비자로서 이동성이 강하고, 환경 변화에 민감하게 반응하므로 어류 개체군의 건강성을 통해 수생태계의 교란 정도를 파악할 수 있으며(Jang *et al.*, 2007), 다양한 종 수와 종별 서식 환경의 차이 등으로 수생태계 환경을 잘 반영하여 담수 생태계의 교란과 정도를 파악할 수 있다.

섬진강 수계는 회유성 어종인 은어(*Plecoglossus altivelis*)가 대규모로 회유하고, 참게(*Eriocheir sinensis*), 재첩(*Corbicula fluminea*) 등 다양한 경제성 생물들이 풍부하여 경제적으로도 매우 중요하다(Baek *et al.*, 2013). 최근 들어 섬진강 본류와 지류 주변의 인구 밀집 지역, 농경지, 목장 등에서 생활하수 및 농·축산 오수 유입량이 증가하면서 부영양화 현상이 가속화되고 있고, 광양만 지역 공단에서 공장 폐수 및 생활하수가 대량으로 유입되어 하류부의 수질오염이 가속화되고 있다(Lee *et al.*, 2007). 과도한 부영양화는 수환경의 오염을 초래하여 어류 개체군의 성장과 건강성에 부정적인 영향을 미치는 것으로 보고되었으며(Ko *et al.*, 2012), 오염된 수역에 서식하는 어류의 경우 비만도 지수나 전장-체중 관계에 기반한 성장도가 낮은 경향을 보인다(Munkittrick and Dixon, 1988; Miller *et al.*, 1992). 또한, 오염물질 배출로 인한 수질 오염과 부영양화, 인공 구조물의 건설, 매립 등의 인위적인 환경 변화는 수체 내에 서식하는 고유종과 멸종위기종 같이 생물다양성 측면에서 주요한 종의 감소와 절멸을 야기할 수 있다(Poff *et al.*, 1997; An *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2013; Pierce *et al.*, 2014). 따라서, 인위적인 영향이 어류군집에 미치는 영향을 평가하기 위해 섬진강 수계 내 어류상의 분포를 확인할 필요성이 있다.

피라미(*Zacco platypus*)는 잉어과(Cyprinidae)에 속하는 1차 담수어로, 정체성 수역부터 여울성 수역에 이르기까지 광범위하게 분포하며(Choi and Kim, 2004), 부영양호부터 빈영양호까지 우점하고 있다(Kim, 1997). 주요 먹이는 자갈이나 모래에 부착하여 서식하는 수서곤충 및 부착조류를 섭식하며, 환경이 악화된 곳에서는 하상의 유기물을 섭식하는 잡식성으로 알려져 있고(Kim, 1997; Kim *et al.*, 2010), 서식지 교란, 수질 오염 및 인위적인 환경 변화에 대한 내성이 매우 강한 종이다(Kim and Kim, 1975). 이러한 종을 이용한 Length-weight relationships (LWRs) 분석은 주어진 환경에서 어류 개체군 및 서식처의 건강성, 생식 능력 및 수질 등 다양한 수환경의 정보에 대한 지

를 제공한다(Anderson and Gutreuter, 1983; Busacker *et al.*, 1990). 따라서 본 연구에서는 섬진강의 본·지류 14개 지점을 대상으로 섬진강 수계의 어류상 분포를 파악하고자 하였으며, 수계 내 광범위하게 분포하는 피라미 개체군의 LWRs 분석을 통해 섬진강 수계 어류의 성장도를 파악하여 향후 효율적이고 안정적인 담수생태계 및 어족자원 조성 관리에 기초적인 자료를 확보하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사 지점 및 조사 기간

섬진강은 국내 5대강 수계 중의 하나로, 길이 212.3 km, 유역면적 4,896.5 km²로 남한에서 네 번째로 긴 강이다. 전라북도 진안군과 장수군의 경계인 팔공산에서 발원하여 전라북도 진안군, 정읍군, 임실군 및 남원시의 상류를 통과하여 중류인 전라남도 구례군과 곡성군을 지나, 광양만으로 흘러간다. 섬진강 본류 및 지류 일대에 대한 어류상을 파악하기 위하여 총 14개 지점(본류 4개지점(ISM~HSM) 및 지류 10개 지점(SCuT~GST))을 선정하였다(Fig. 1). 또한, 다양한 시기를 고려하여 수계 내 분포하는 어류상 파악을 위해, 여름, 가을, 봄의 3회에 걸쳐 현장 조사를 수행하였다. 조사 시기는 2018년 7월~9월(여름), 2018년 10월~11월(가을), 2019년 3월~5월(봄)으로 선정하였다.

2. 어류 조사

어류 채집은 투망(망목, 7×7 mm)과 족대(망목, 4×4 mm)를 이용하여, 정량적인 조사를 위해 지점별로 투망은 20회, 족대는 30분을 기준으로 조사하였고, 현장에서 동정하여 전장, 체장, 무게를 측정하고 즉시 방류하였으며 현장에서 동정이 어려운 개체의 경우 10% 포르말린 용액으로 고정 후 실험실로 운반하여 계측 및 동정하였다. 전장 및 체장은 1 mm까지, 무게는 0.1 g까지 측정하였다. 어류의 동정은 국내에서 발표된 문헌(Kim and Park, 2002; Kim *et al.*, 2005)을 이용하였고 모든 종의 학명(scientific name) 및 과명(family name)은 2019 국가생물종목록(NIBR, 2019)을 기준으로 하였으며 분류체계는 Nelson (2006)의 분류체계를 따랐다.

3. 자료 분석

1) 군집 분석 및 통계분석

다양한 계절을 고려하여 종의 출현과 군집 구조를 분석하기 위해서 총 3회의 조사 결과를 지점별로 합산하여

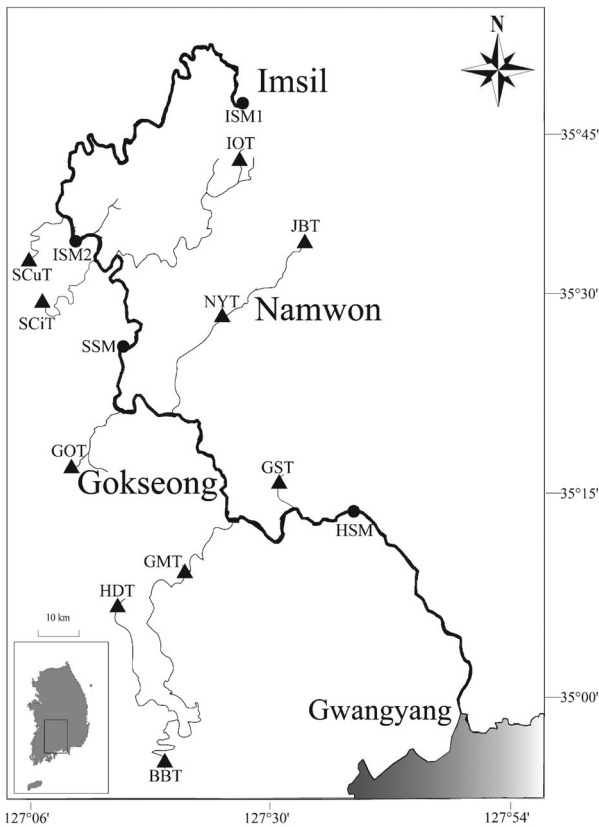


Fig. 1. Map of the sampling sites in the Seomjin River, Korea (●: Main stream; ▲: Tributary).

(i) 군집 지수를 계산하고, (ii) 비계량 다차원 척도법 (non-metric multidimensional scaling, NMDS)을 적용하였다. 군집 지수는 우점도 지수 (McNaughton, 1967), 종다양도 지수 (Shannon and Weaver, 1963), 균등도 지수 (Pielou, 1966), 풍부도 지수 (Margalef, 1958)를 산출하였다. 각 정점에서 조사된 어류군집의 특성을 파악하기 위해서, 자연로그로 변환한 출현 개체수를 이용하여 계산된 Bray-Curtis similarity에 기반하여 NMDS 분석을 수행하였다. 이때, 최종 stress 값 (적합도 측정치)의 유의성을 결정하기 위해 Monte Carlo randomization test ($n = 999$)를 수행하였다. NMDS ordination으로 구분된 그룹 간의 차이에 대한 유의성을 파악하기 위해 ANOSIM (Analysis of similarity) 분석을 999번의 순열 검정을 통해 실시하였으며, SIMPER (Similarity percentage) 분석을 통해 각 그룹별 어류군집 차이에 기여하는 분류군을 파악하였다. NMDS ordination, ANOSIM, SIMPER 분석 및 시각화는 R program (ver. 3.6.3, RS Team, Inc., Boston, MA, USA) 내 'vegan' (Oksanen *et al.*, 2019) 및 'ggplot2' (Wickham *et al.*, 2011) 패키지를 사용하였다.

2) 전장-체중 관계 (Length-weight relationships, LWRs)

섬진강 수계 내 정점별 어류 성장도 평가를 위해, 모든 조사 지점에서 출현이 확인된 피라미를 선정하여 Keys (1928)의 방법에 따라 회귀 분석을 통해 LWRs를 산출하였다 (Eqn 1). 분석에 앞서 전장-무게 데이터는 자연 로그로 변환하여 선형 회귀 분석을 통해 이상치 (Outlier)를 제거하였다 (Froese, 2006).

$$TW = aL^b \quad (\text{Eqn 1})$$

(TW, total weight (g); TL, total length (mm); a , constant; b , regression coefficient)

결과 및 고찰

1. 섬진강 수계의 어류상 및 군집 지수

본 연구를 통하여 섬진강 분류 및 지류 일대의 어류 조사를 진행한 결과, 총 14과 49종 1,787개체가 출현하였다 (Table 1). 이 중 가장 종의 서식이 많이 확인된 분류군은 상대 풍부도 (relative abundance, RA) 61.2%로 나타난 잉어과로 30종이 나타났으며, 다음으로 미꾸리과 (Cobitidae) 4종 (8.2%), 동자개과 (Bagridae), 꺾지과 (Centropomidae), 검정우럭과 (Centrarchidae)가 각각 2종 (4.1%) 순으로 나타났다. 출현 개체수가 가장 많이 확인된 분류군은 잉어과로 1,415개체 (79.2%)가 출현하였으며, 다음으로 검정우럭과가 117개체 (6.5%), 꺾지과 58개체 (3.2%), 동자개과 53개체 (3.0%) 순으로 나타났다. 전체 지점의 우점종으로 출현한 종은 피라미로 626개체 (35.0%)가 확인되었고, 모든 조사 지점에서 출현하였으며, 참갈겨니 (*Z. koreanus*)가 102개체 (5.7%)로 아우점 하는 것으로 확인되었다 (Fig. 2A). 이는 국내 수계의 대표적인 우점종과 아우점종으로 보고된 피라미와 참갈겨니가 섬진강 수계에서 각각 우점종과 아우점종으로 나타나는 것과 일치하였다 (Yoon *et al.*, 2018). 본류 지점에선 피라미가 91개체 (16.5%), 치리 (*Hemiculter eigenmanni*)와 은어가 49개체 (8.9%)로 (Fig. 2C), 지류 지점에선 피라미가 535개체 (43.3%), 참갈겨니가 99개체 (8.0%)로 각각 지점 유형별 우점종 및 아우점종으로 나타났다 (Fig. 2E). 그 중 회유성 어종인 은어는 우리나라 전역에 분포하는 것으로 알려져 있으나 개발 및 수질 오염 등으로 서식 지역이 줄어들고 있는 실정이다. 은어의 성장에 있어 하천 규모는 매우 밀접한 관련이 있는데 (Lee *et al.*, 2008), 남해로 유입되는 섬진강은 은어 서식처 중 상대적으로 큰 하천 규모를 가지고 있어 남해안 은어의 서식 및 산란처로 매우 중요한 역할을 한다.

Table 1. The list and individual number of collected fishes in Seomjin River.

Scientific name and Korean name	Sites												Total	R.A. (%)	Remarks				
	ISM1	ISM2	SSM	HSM	SCuT	SCiT	IOT	GOT	JBT	NYT	BBT	HDT				GMT	GST		
Cyprinidae																			
<i>Cyprinus carpio</i> 잉어																1	1	0.06	
<i>Carassius auratus</i> 붕어	1			10		1	2	1								15	0.84		
<i>Carassius curvieri</i> 떡붕어	4															1	5	0.28	
<i>Rhodeus uyekii</i> 각시붕어					30						17					3	1	2.85	
<i>Rhodeus notatus</i> 떡남줄갱이							1									4	1	0.34	
<i>Acheilognathus lanceolatus</i> 남자루	18			3			26									2	49	2.74	
<i>Acheilognathus korensis</i> 칼남자루			1		16				3	3						2	25	1.40	
<i>Acheilognathus somjinensis</i> 임실남자루					2											2	2	0.11	
<i>Acheilognathus yamatsutae</i> 출남자루										2						2	2	0.11	
<i>Acheilognathus majusc ulus</i> 큰출남자루				43											5	48	2.69		
<i>Acheilognathus rhombeus</i> 납지리					6	1	5				2					14	0.78		
<i>Pseudorasbora parva</i> 참붕어					4	1					2					4	11	0.62	
<i>Pungtungia herzi</i> 돌고기		1		17	5	1	1	2	1	12	7	2				1	51	2.85	
<i>Coreoleuciscus aeruginos</i> 참쉬리						3			8	6						1	19	1.06	
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i> 참종고기		13		22	4		6	1			5					4	55	3.08	
<i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i> 종고기				1												7	8	0.45	
<i>Squalidus gracilis majimae</i> 간물개					24	6	1	1			2	10				3	48	2.69	
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i> 참물개	1			6	1	2	11	2		1						5	29	1.62	
<i>Hemibarbus labeo</i> 누치	7	4	3	9			1	2		1	3					32	1.79		
<i>Hemibarbus longirostris</i> 참마자		1		1						1	1					3	7	0.39	
<i>Pseudogobio esocinus</i> 모래무지	7	1	1	8			8	4		1	2					31	1.73		
<i>Abbottina rivularis</i> 버들매치																22	22	1.23	
<i>Microphysogobio yaluensis</i> 돌마자	1		1				7		1	14						1	37	2.07	
<i>Tribolodon hakonensis</i> 황어				3												3	3	0.17	
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i> 버들치							3									3	3	0.17	
<i>Zacco temminckii</i> 갈겨니				1	5	8										15	0.84		
<i>Zacco koreanus</i> 참갈겨니				3	10	1	1		37	17	3					12	18	102	5.71
<i>Zacco platypus</i> 피라미	13	18	58	2	44	6	104	59	85	35	82	20				22	78	626	35.03
<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i> 꼬리				3			1	1								2	10	0.56	
<i>Hemiculter eigenmanni</i> 치리	49										30					9	88	4.92	
Cobitidae																			
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> 미꾸리																2	2	0.11	

Table 1. Continued.

Scientific name and Korean name	Sites													Total	R.A. (%)	Remarks		
	ISM1	ISM2	SSM	HSM	SCuT	SCiT	IOT	GOT	JBT	NYT	BBT	HDT	GMT				GST	
<i>Misgurnus mizolepis</i> 미꾸라지				1							1				2	0.11		
<i>Isookimia longicorpa</i> 왕종개						10					2				2	14	0.78	Ke
<i>Cobitis tetralineata</i> 줄종개	4						1						6		11	0.62	Ke	
Bagridae <i>Pseudobagrus fulvidraco</i> 동자개				14								3			18	1.01		
<i>Pseudobagrus koreanus</i> 눈동자개				22	1			2						10	35	1.96	Ke	
Amblycipitidae <i>Liobagrus somjinensis</i> 섬진자가사리								1		3	1		4		9	0.50	Ke	
Osmeridae <i>Plecoglossus altivelis</i> 바다빙어과				49											49	2.74		
Mugilidae <i>Mugil cephalus</i> 송어과				3											3	0.17		
Adrianchthyidae <i>Oryzias latipes</i> 송사리														1	1	0.06		
Moronidae <i>Lateolabrax maculatus</i> 농어과				9											9	0.50		
Centropomidae <i>Siniperca scherzeri</i> 꼭지과				18									1	1	20	1.12		
<i>Coreoperca herzi</i> 쏘가리		1		19				2	4	9	1		2		38	2.13	Ke	
Centrarchidae <i>Lepomis macrochirus</i> 검정우럭과																		
<i>Micropterus salmoides</i> 블루길	14		24	1	4			4				13			60	3.36	Ex	
Odontobutidae <i>Odontobutis platycephala</i> 배스	22	3	6	1				8				11		6	57	3.19	Ex	
Gobiidae <i>Rhinogobius brunneus</i> 망둑어과				2	3	1				7		1	1		15	0.84	Ke	
Osphronemidae <i>Macropodus ocellatus</i> 밀어			1		1			4	6	2	1	4	1	6	26	1.45		
Channidae <i>Channa argus</i> 버들붕어과 가물치과			1				1								2	0.11		
				1											1	0.06		
No. of individual	141	41	97	272	160	45	180	92	138	201	59	81	188	1,787				
No. of species	12	7	10	27	16	14	16	13	8	21	10	21	22	49				

* Ex: Exotic species, Ke: Korean endemic species, En: Endangered species

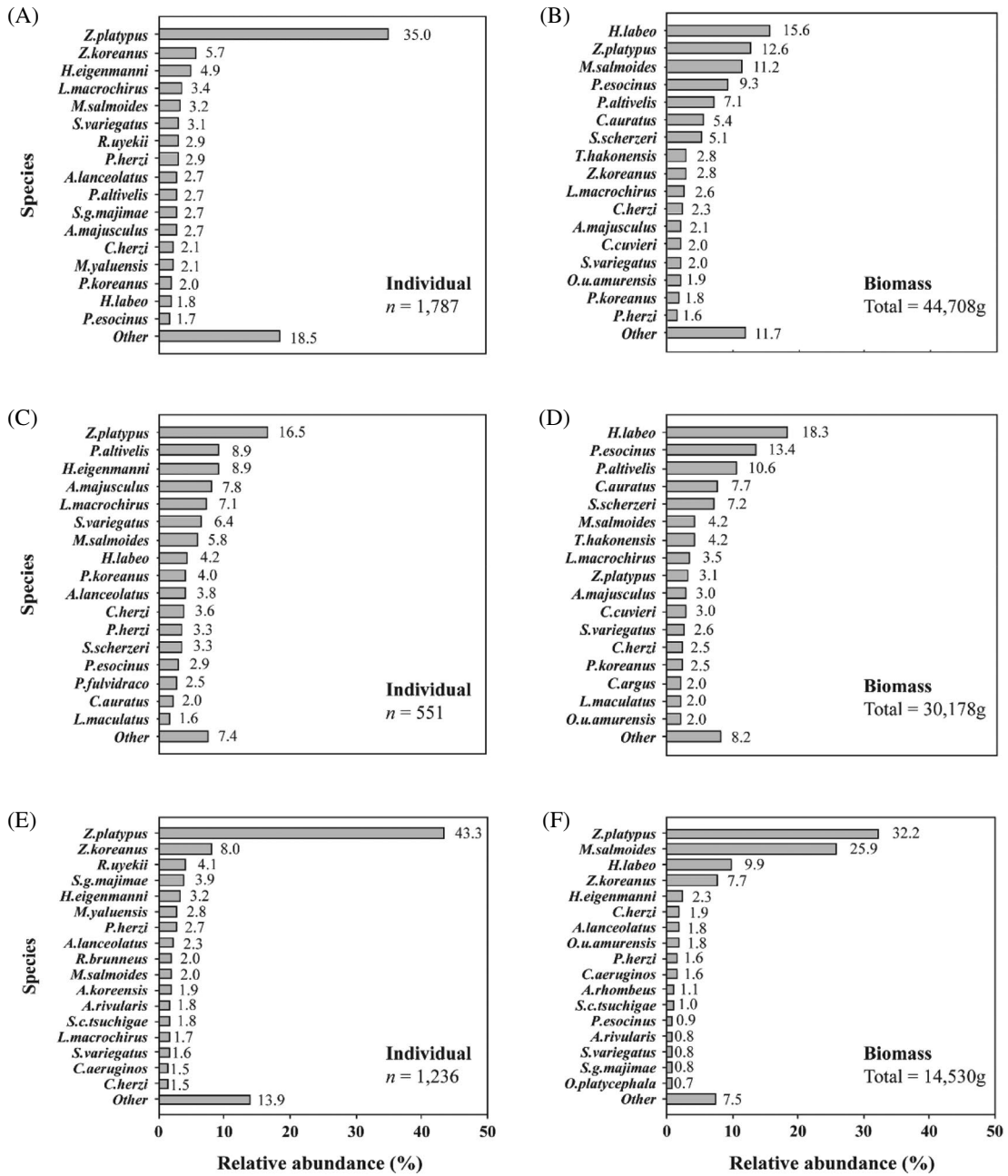


Fig. 2. Relative abundance of fish collected in Seomjin River (A, B: Total site C, D: Main stream E, F: Tributary) (A, C, E: Individual B, D, F: Biomass).

섬진강 수계에서 조사된 어류 총 1,787개체의 생체량은 약 44,708.37 g으로 확인되었다(Fig. 2B). 이 중 잉어과가 28,710.95 g (64.2%)으로 가장 높고, 점정우렁과 6,173.48 g (13.8%), 꺾지과 3,292.68 g (7.4%), 바다빙어과(Osmeridae)가 3,184.46 g (7.1%) 순으로 나타났다. 출현한 49종 중에는 누치(*Hemibarbus labeo*)가 6,971.77 g (15.6%)으로 가장 풍부한 생체량을 보였으며, 피라미

5,611.35 g (12.6%), 배스(*Micropterus salmoides*) 5,022.57 g (11.2%), 은어 3,184.46 g (7.1%) 순으로 나타났다(Fig. 2B). 선행 연구 보고와 같이 생체량에서 잉어과 어류의 우세함이 나타나고, 지류에서 본류와 달리 피라미의 생체량 상대풍부도가 높게 나타났는데(Fig. 2D, F), 이는 유량이 풍부하고 저수량이 많은 곳을 선호하는 누치, 붕어(*Carassius auratus*), 쏘가리(*Siniperca scherzeri*) 등의 영향

Table 2. Summary of the community indices in Seomjin River.

	Sites	Dominant index (DI)	Diversity index (H')	Evenness (E')	Richness index (RI)
Main stream	ISM1	0.50	1.97	0.79	2.22
	ISM2	0.76	1.41	0.72	1.61
	SSM	0.85	1.21	0.52	1.96
	HSM	0.34	2.69	0.81	4.63
	AVE	0.61	1.82	0.71	2.60
Tributary	SCuT	0.46	2.19	0.79	2.95
	SCiT	0.40	2.27	0.86	3.41
	IOT	0.72	1.58	0.57	2.88
	GOT	0.73	1.44	0.56	2.65
	JBT	0.88	1.07	0.51	1.42
	NYT	0.57	1.91	0.76	2.43
	BBT	0.56	2.11	0.69	3.77
	HDT	0.53	1.86	0.81	2.20
	GMT	0.42	2.54	0.83	4.55
	GST	0.53	2.16	0.70	4.01
	AVE	0.58	1.91	0.70	3.02
	Total. AVE	0.59	1.88	0.70	2.90

으로 판단된다(Jang *et al.*, 2009).

본 조사에서 출현한 49종 중 한국고유종은 6과 19종 636개체로 확인되어 고유종 출현 비율은 35.6%로 나타났으며, 이는 Kim (1995)에 의해 제시된 한국 고유 담수어류의 고유화 빈도인 22.5%~25.9%보다 높은 것으로 확인되었다. 고유종 중 참갈겨니가 102개체(16.0%)로 가장 풍부한 개체수를 보였으며, 치리 88개체(13.0%), 참중고기 (*Sarcocheilichthys variegatus*) 55개체(8.6%) 등으로 나타났다. 출현한 고유어종 중 SCuT 지점에서 현재 환경부 지정 멸종위기 야생생물 I급으로 지정되어 있는 임실납자루 (*Acheilognathus somjinensis*)가 출현하였으며, GMT, HSM 지점에서 멸종위기 야생생물 II급으로 지정되어 있는 큰줄납자루 (*A. majusculus*)가 출현하였는데 이 종들은 개체수 유지와 서식지 보호를 위해 집중적인 관리가 필요하다. 본 연구 수계에서 수 생태계 교란 및 한반도 고유종에 치명적인 영향을 끼치는 외래종은 2과 3종 122개체의 서식이 확인되었다. 전체 49종 중 외래종의 상대 풍부도는 6.8%이며, 블루길(*Lepomis macrochirus*) 60개체(49.1%), 배스 57개체(46.7%), 떡붕어(*C. cuvieri*) 5개체(4.2%) 순으로 나타났다.

지점별 군집 지수를 산출한 결과, 지류 지점이 본류 지점에 비해 상대적으로 높은 다양도 지수와 풍부도 지수가 나타났다. 그 중 JBT 지점에서 피라미와 참갈겨니의 높은

상대풍부도로 인해 우점도 지수가 0.88의 값으로 전체 지점 중 가장 높게 나타났으며, 이 영향으로 다양도 지수, 균등도 지수, 풍부도 지수가 반대로 가장 낮게 나타났다. 우점도 지수가 가장 낮게 나타난 HSM의 경우 다양도 지수와 풍부도 지수가 전체 지점 중 가장 높은 값을 보였는데 이는 기수역의 지점 특성으로 다양한 종 수가 출현하여 영향을 준 것으로 판단된다. 균등도 지수는 SCiT 지점에서 전체 지점 중 가장 높게 나타났다(Table 2).

2. 섬진강 수계 내 어류군집의 공간적 분포

조사 지점별 어류군집 NMDS ordination을 실시한 결과, 크게 그룹 A, B 두 개의 그룹으로 구분되고 그룹 내 속하지 않는 2개의 지점(기타 그룹)으로 나뉘었는데(Fig. 3A), 그룹 A에는 HSM 지점을 제외한 모든 본류 지점이 포함되었고, 그룹 B에는 기타 그룹 지점을 제외한 모든 지류 지점만으로 구성되었다. 특히, 그룹 A와 B 간에 유의한 차이가 존재하였으며(ANOSIM R=0.722, p=0.002), 참갈겨니(8.55%), 배스(6.90%), 블루길(4.90%)이 두 그룹의 차이를 나타내었다. 그룹 A는 외래종인 배스(그룹 평균 상대 풍부도, RA=2.23), 블루길(RA=1.51)의 출현이 높게 나타났으며, 이는 본류 지점들을 비롯하여 유량이 풍부하고 상대적으로 유속이 느린 서식처의 영향을 반영한 것으로 판

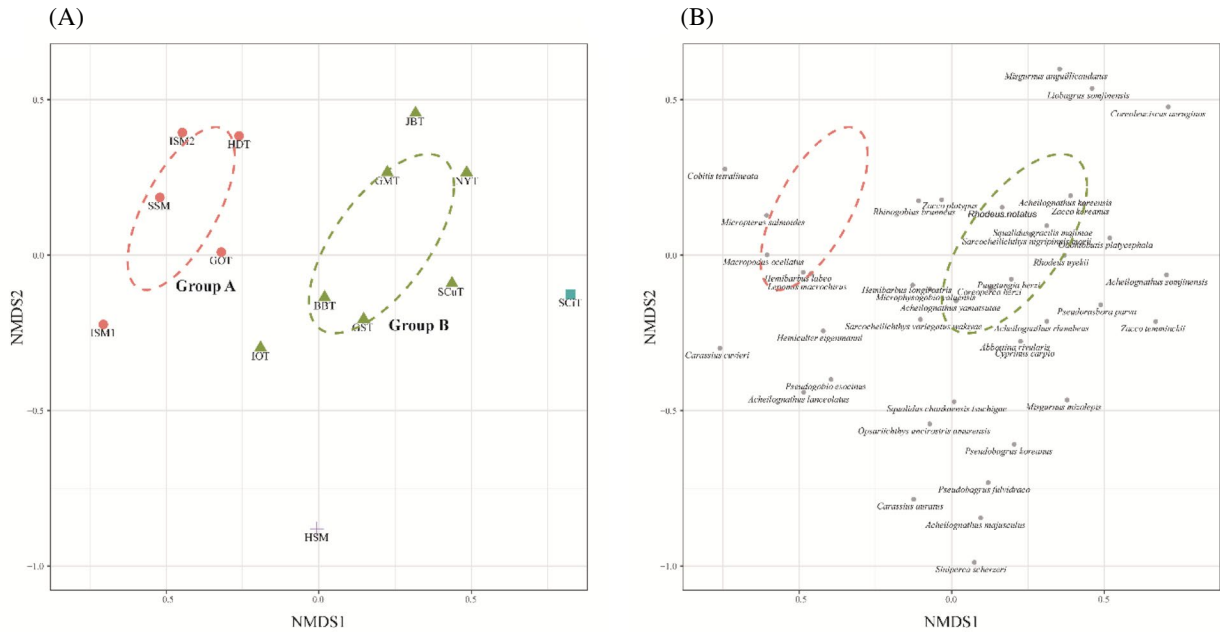


Fig. 3. Non-metric multidimensional scaling ordination of fish communities displaying (A) sampling sites and (B) species in the Seomjin River basin.

단된다. 그룹 B는 국내 하천 생태계 최 우점종인 피라미 (RA=4.06), 한국 고유종인 참갈겨니 (RA=2.36)와 돌고기 (*Pungtungia herzi*) (RA=1.31)의 출현이 주요하였는데, 그룹 A에 비해 상대적으로 유수성 환경의 영향을 반영하는 지류의 특징으로 판단된다. 그룹 A는 HSM 지점을 제외한 섬진강 본류의 세 지점과 옥과천 및 동복천을 포함하여, 대부분 지천으로 구성된 그룹 B에 비해 외래종의 출현이 많았다. 따라서, 그룹 B는 그룹 A에 비하여 어류군집이 비교적 외래종의 비율이 높게 유지되고 있음을 확인할 수 있었다. 옥과천과 동복천의 경우에는 지류임에도 불구하고 배스가 아우점종으로 출현하여, 외래종 퇴치나 지점의 자연성을 회복하기 위한 관리가 필요한 것으로 보인다.

기타 그룹 중 SCiT 지점은 다른 지점에서는 잘 관찰되지 않던 왕종개 (*Iksookimia longicorpa*)가 우점종 (RA=2.39)으로 나타나고, 갈겨니 (*Z. temminckii*)가 아우점종 (RA=2.19)으로 나타난 것을 비롯하여 벼룩치 (*Rhynchocypris oxycephalus*)와 송사리 (*Oryzias latipes*) 등 다른 지점들과 독립적인 군집 구성을 보여 유사도가 낮게 나타났다. 기수역으로 추정되는 HSM 지점은 여러 회유성 어종의 분포로 다른 지점들과 유사도가 낮게 나타나 기타 그룹으로 분류되었다. 그 중 은어의 출현이 높게 나타나, 다른 지점들과 유의하게 구분되는 기수역의 특징을 보였다 (Fig. 3B).

이러한 차이에 기여하는 분류군을 확인하기 위해

SIMPER 분석을 실시한 결과 각 비교 그룹별 average dissimilarity는 67.45~88.31%의 범위로 나타났으며, 그룹 A와 B의 차이가 가장 낮게 나타났고, 그룹 C와 D의 차이가 가장 높게 나타났다 (Appendix 1). 각 그룹별 비 유사성에 기여하는 주요종은 그룹 A는 배스와 블루길, 그룹 B는 피라미와 참갈겨니, 그룹 C는 왕종개와 갈겨니, 그룹 D는 은어, 큰줄납자루와 눈동자개 (*Pseudobagrus koreanus*)로 나타났다.

3. 피라미 (*Zacco platypus*)의 전장-체중 관계 분석

본 조사에서 우점한 피라미를 대상으로 전장과 체중의 관계를 분석한 결과, 지점별로 다양한 성장도를 보이고 있음을 확인하였다 (Appendix 2). 일반적으로 회귀계수 (b) 값은 3.0을 기준으로 높으면 개체가 비만함을 보이고 반대로 낮으면 왜소해짐을 보이는 것으로 알려져 있다 (Froese, 2006). 특히, IOT, GOT, JBT, GST 지점에서 3 이하의 b값을 보여 상대적으로 낮은 성장도를 보였으며, SCiT 지점에서 3.80로 가장 양호한 성장도를 나타냈다. 섬진강 수계 전체 지점을 대상으로 하였을 때 회귀계수 b값은 3.08로 나타났다 (Fig. 4). Baek *et al.* (2020)은 국내의 다양한 환경에서 통용될 수 있는 표준 LWRs를 한강, 낙동강, 금강권역에서 제시하였는데, 이때 피라미의 b값은 3.248로 본 결과보다 높은 값을 보였다. 보다 표준화된 LWRs의 산출을 위해

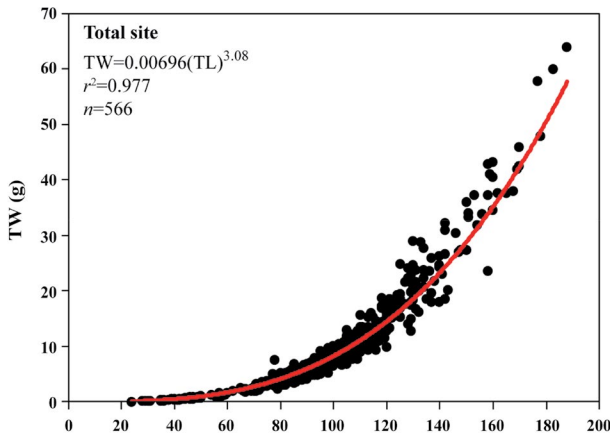


Fig. 4. Length-weight relationships for *Zacco platypus* collected in the study site (TW: Total Weight, TL: Total Length).

서 본 연구 결과인 섬진강 수계 내 어류의 길이-무게 데이터들을 포함할 필요성이 있다고 판단된다.

적 요

어류군집은 자연적인 환경 변화뿐만 아니라 인위적 교란에 민감하게 반응하기 때문에, 어류상 및 군집 분석을 통해 수생태계의 서식처 건강성을 종합적으로 평가할 수 있다. 본 연구는 섬진강 수계 본·지류 총 14개 지점을 대상으로 어류상 및 피라미의 전장-체중 관계를 파악하기 위해 2018년 7월부터 2019년 5월까지 어류 조사를 실시하였다. 그 결과 채집된 어류는 한국고유종 19종과 법적보호종 2종을 포함하여 14과 49종으로 확인되었다. Bray-Curtis 유사도에 따르면, 14개 지점은 어류군집 구성에 따라 크게 A, B 두 개의 그룹과 그룹 내 속하지 않는 2개의 지점(그룹 C, D)으로 나뉘었다. 특히, 그룹 A와 B 간에 유의한 차이가 존재하였으며 (ANOSIM $R=0.722$, $p=0.002$), 참갈겨니 (8.55%), 배스 (6.90%), 블루길 (4.90%)이 두 그룹의 차이에 기여한 것으로 나타났다. 그룹 A는 외래종인 배스, 블루길의 출현이 높게 나타났으며, 그룹 B는 국내 하천 생태계 최 우점종인 피라미와 참갈겨니의 출현이 주요하였다. 본 조사에서 우점한 피라미를 대상으로 전장-체중 관계식에 의한 지점별 회귀계수 b 값은 2.82~3.80까지 나타나 지점별로 다양한 성장도를 나타냈다. 따라서 본 연구는 섬진강 수계의 전반적인 어류상과 피라미를 바탕으로 어류의 성장도를 파악할 수 있는 기초자료로서 활용될 수 있을 것이다.

저자정보 이선호 (전남대학교 해양융합과학과 대학원생), 김효겸 (전남대학교 수산과학연구소 학술연구교수), 조현빈

(부산대학교 환경·에너지연구소 연구교수), 곽인실 (전남대학교 해양융합과학과 교수)

저자기여도 개념설정: 곽인실, 김효겸, 조현빈, 방법론: 곽인실, 김효겸, 조현빈, 분석: 이선호, 김효겸, 자료제공: 곽인실, 자료관리: 곽인실, 원고 초안작성: 이선호, 김효겸, 조현빈, 원고 교정: 곽인실, 김효겸, 조현빈, 이선호 원고 편집 및 검토: 곽인실, 김효겸, 조현빈, 이선호, 과제관리: 곽인실 연구비 수주: 곽인실

이해관계 이 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음

연구비 본 연구는 한국연구재단 대학중점연구사업 [NRF-2018R1A6A1A03024314]과 [NRF-2020R1A2C1013936]의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

REFERENCES

- Adams, S.M. 2002. Biological indicators of aquatic ecosystem stress. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- An, K.G., S.H. Jung and S.S. Choi. 2001. An evaluation on health conditions of Pyong-chang River using the index of biological integrity (IBI) and qualitative habitat evaluation index (QHEI). *Korean Journal of Society of Limnology* **34**(3): 153-165.
- Anderson, R.O. and S.J. Gutreuter. 1983. Length, weight, and associated structural indices. In: Fisheries techniques. (Nielson, L.A. and D.L. Johnson, Eds.). American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Baek, S.H., J.D. Yoon, J.H. Kim, H.J. Lee, K.R. Choi and M.H. Jang. 2013. Characteristics of fish community in the Seomjin River and brackish area. *Korean Journal of Environmental Biology* **31**(4): 402-410.
- Baek, S.H., S.H. Park and J.H. Kim. 2020. Estimation of standard length-weight-relationships of 10 freshwater fish in the South Korea for application of relative weight index. *Korean Journal of Ichthyological* **32**(2): 55-62.
- Busacker, G.P., I.R. Adelman, E.M. Goolish, C.B. Schreck and P.B. Moyle. 1990. Methods for fish biology. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Chio, J.S. and J.K. Kim. 2004. Ichthyofauna and fish community in Hongcheon River, Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* **22**(3): 446-455.
- Froese, R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology* **22**(4): 241-253.
- Jang, S.H., H.S. Ryu and J.H. Lee. 2009. Fish fauna and community structure in the mid-upper region of the Seomjin River. *Korean Journal of Ecology and Environment* **42**(3): 394-403.
- Jang, Y., K. Lee, J. Seo and B. Kim. 2007. Length-weight relationship and condition factor of *Zacco platypus* in the

- lake Hoengseong. *Korean Journal of Society of Limnology* **40**(3): 412-418.
- Keys, A.B. 1928. The weight-length relation in fishes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **14**(12): 922-925
- Kim, I.S. 1995. The conservation and status of threatened freshwater fishes in Korea, p. 31-50. *In: Proceedings of Ichthyofauna and Characteristics of Freshwater Ecosystems in Korea, the Ecological Society of Korea and the Korean Society of Ichthyology* (Lee, H.J. and I.S. Kim, eds.). Seoul, Korea.
- Kim, I.S. 1997. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, Vol. 37, Freshwater fishes. Kyohak Press Co., Seoul, Korea.
- Kim, I.S. and H.G. Kim. 1975. A study on the water pollution and its influence on the fish community in Jeonju-cheon creek, Jeonrabug-do province, Korea. *The Korean Journal of Limnology* **8**(3): 7-14.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. Freshwater fishes of Korea. Kyohak Press Co., 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. Kyohak Press Co., Seoul, Korea.
- Kim, J.K., J.H. Han and K.G. An. 2010. Tolerance range analysis of fish on chemical water quality in aquatic ecosystems. *Korean Journal of Society of Limnology* **43**(4): 459-470.
- Ko, D.G., J.H. Han and K.G. An. 2012. Length-weight relations and condition factor (K) of *Zacco platypus* along trophic gradients in reservoir ecosystems. *Korean Journal of Society of Limnology* **45**(2): 174-189.
- Lee, E.H., J.W. Choi, J.H. Lee and K.G. An. 2007. Ecological health diagnosis of Sumjin River using fish model metric, physical habitat parameters, and water quality characteristics. *Korean Journal of Society of Limnology* **40**(2): 184-192.
- Lee, J.H., J.H. Han, B.J. Lim, J.H. Park, J.K. Shin and K.G. An. 2013. Comparative analysis of fish fauna and community structures before and after the artificial weir construction in the mainstreams and tributaries of Yeongsan River watershed. *Korean Journal of Society of Limnology* **46**(1): 103-115.
- Lee, K.Y., H. Jang, Y. Yun, S. Park, J.C. Kim, J. Lee and J. Choi. 2014. Ecological diagnosis of the Gongjicheon water system using length-weight relationships and condition factor (K) of population of the *Zacco platypus*. *Korean Journal of Environmental Impact Assessment* **23**(2): 137-149.
- 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 streams flowing to the East Sea, Korea. *Korean Journal of Ichthyological* **20**(3): 179-189.
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *General Systematics* **3**: 36-71.
- McNaughton, S.J. 1967. Relationships among functional properties of Californian grassland. *Nature* **216**: 114-168.
- Miller, P.A., K.R. Munkittrick and D.G. Dixon. 1992. Relationship between concentrations of copper and zinc in water, sediment, benthic invertebrates, and tissues of white sucker (*Catostomus commersoni*) at metal-contaminated sites. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **49**(5): 978-984.
- Munkittrick, K.R. and D.G. Dixon. 1988. Growth, fecundity, and energy stores of white sucker (*Catostomus commersoni*) from lakes containing elevated levels of copper and zinc. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **45**: 1355-1365.
- National Institute of Biological Resources (NIBR). 2019. National list of species of Korea. National Institute of Biological Resources (NIBR), Incheon, Korea
- Nelson, J.S. 2006. Fishes of the world 4th ed. John Wiley and Sons, New York, U.S.A.
- Oksanen, J., F.G. Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre, D. McGlenn, P.R. Minchin, R.B. O'Hara, G.L. Simpson, P. Solymos, M.H.H. Stevens, E. Szoecs and H. Wangen. 2019. Vegan: Community Ecology Package (R package version 2.5-6.).
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology* **13**: 131-144.
- Pierce, C.L., N.L. Ahrens, A.K. Loan-Wilsey, G.A. Simmons and G.T. Gelwicks. 2014. Fish assemblage relationships with physical characteristics and presence of dams in three eastern Iowa Rivers. *River Research and Applications* **30**(4): 427-441.
- Poff, N.L., J.D. Allan, M.B. Bain, J.R. Karr, K.L. Prestegard, B.D. Richter, R.E. Sparks and J.C. Stromberg. 1997. The natural flow regime. *BioScience* **47**(11): 769-784.
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Seo, J. 2005. Fish fauna and ecological characteristics of dark chub (*Zacco temminckii*) population in the mid-upper region of Gam stream. *Korean Journal of Society of Limnology* **38**(2): 196-206.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, Illinois.
- Wickham, H. 2011. ggplot2. *Wiley Interdisciplinary Reviews* **3**(2): 180-185
- Yoon, J.D., J.H. Jeong, S.H. Park and M.H. Jang. 2018. The distribution and diversity of freshwater fishes in Korean peninsula. *The Korean Journal of Limnology* **51**(1): 71-85.

Appendix 1. Dissimilarity of fish assemblage by each groups as determined using similarity percentage analysis (SIMPER).

		A and B group compares Average dissimilarity = 67.45				
Scientific name and Korean name		Average relative abundance		Average dissimilarity	Species contribution (%)	Cumulative contribution (%)
		A	B			
<i>Zacco koreanus</i>	참갈겨니	–	2.36	0.06	8.55	8.55
<i>Micropterus salmoides</i>	배스	2.23	0.28	0.05	6.90	15.45
<i>Lepomis macrochirus</i>	블루길	1.51	0.61	0.03	4.90	20.35
		A and C group (SCiT) compares Average dissimilarity = 77.61				
Scientific name and Korean name		Average relative abundance		Average dissimilarity	Species contribution (%)	Cumulative contribution (%)
		A	C			
<i>Iksookimia longicorpa</i>	왕종개	–	2.40	0.07	9.22	9.22
<i>Micropterus salmoides</i>	배스	2.23	–	0.06	8.30	17.52
<i>Zacco temminckii</i>	갈겨니	0.14	2.20	0.06	7.89	25.41
		A and D group (HSM) compares Average dissimilarity = 77.18				
Scientific name and Korean name		Average relative abundance		Average dissimilarity	Species contribution (%)	Cumulative contribution (%)
		A	D			
<i>Plecoglossus altivelis</i>	은어	–	3.91	0.06	7.54	7.54
<i>Acheilognathus majusculus</i>	큰줄납자루	–	3.78	0.06	7.29	14.83
<i>Pseudobagrus koreanus</i>	눈동자개	–	3.14	0.05	6.05	20.88
		B and C group (SCiT) compares Average dissimilarity = 69.22				
Scientific name and Korean name		Average relative abundance		Average dissimilarity	Species contribution (%)	Cumulative contribution (%)
		B	C			
<i>Zacco platypus</i>	피라미	4.06	1.95	0.05	7.07	7.07
<i>Iksookimia longicorpa</i>	왕종개	0.31	2.40	0.05	6.98	14.05
<i>Zacco temminckii</i>	갈겨니	0.26	2.20	0.05	6.57	20.62
		B and D group (HSM) compares Average dissimilarity = 72.69				
Scientific name and Korean name		Average relative abundance		Average dissimilarity	Species contribution (%)	Cumulative contribution (%)
		B	C			
<i>Plecoglossus altivelis</i>	은어	–	3.91	0.05	6.97	6.97
<i>Acheilognathus majusculus</i>	큰줄납자루	0.26	3.78	0.05	6.29	13.26
<i>Zacco platypus</i>	피라미	4.06	1.10	0.04	5.28	18.54

Appendix 1. Continued.

Scientific name and Korean name		C (SCiT) and D group (HSM) compares Average dissimilarity = 88.31				
		Average relative abundance		Average dissimilarity	Species contribution (%)	Cumulative contribution (%)
		B	C			
<i>Plecoglossus altivelis</i>	은어	–	3.91	0.06	6.92	6.92
<i>Acheilognathus majusculus</i>	큰줄납자루	–	3.78	0.06	6.70	13.62
<i>Pseudobagrus koreanus</i>	눈동자개	–	3.14	0.05	5.55	19.17

Appendix 2. Descriptive statistics and estimated parameters of Length-weight relationships for *Zacco platypus* in Seomjin River.

Site	Total length (cm)				Total weight (g)			Length-Weight relationship parameters and statistics				
	<i>n</i>	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	<i>a</i>	95% CL of <i>a</i>	<i>b</i>	95% CL of <i>b</i>	<i>r</i> ²
ISM1	11	6.7	13.7	9.5	2.4	26.0	9.1	0.0026	0.0021~0.0067	3.38	3.13~3.65	0.99
ISM2	18	7.8	17.0	12.8	3.5	46.0	21.9	0.0044	0.0031~0.0065	3.27	3.14~3.40	0.99
SSM	57	3.5	16.0	7.6	0.3	40.6	6.3	0.0056	0.0051~0.0063	3.19	3.14~3.25	0.99
HSM	2											
SCuT	27	7.2	13.8	10.2	3.1	21.9	9.9	0.0074	0.0049~0.0112	3.05	2.88~3.23	0.98
SCiT	6	11.4	18.8	16.2	10.0	64.0	39.7	0.0009	0.0004~0.0025	3.80	3.43~4.18	0.99
IOT	103	2.4	16.2	10.1	0.1	37.7	10.5	0.0093	0.0078~0.0112	2.95	2.87~3.04	0.98
GOT	52	3.5	13.1	9.4	2.6	17.6	7.3	0.0087	0.0050~0.0153	2.98	2.70~3.23	0.96
JBT	71	6.7	14.8	9.7	2.4	27.5	8.8	0.0094	0.0073~0.0117	2.96	2.87~3.06	0.99
NYT	29	6.9	16.0	9.9	2.4	43.3	10.0	0.0033	0.0020~0.0054	3.41	3.19~3.63	0.97
BBT	79	5.7	17.7	9.2	1.3	58.0	7.9	0.0050	0.0033~0.0076	3.20	3.01~3.40	0.93
HDT	19	4.4	10.3	6.2	0.7	9.9	2.8	0.0071	0.0056~0.0090	3.10	2.98~3.24	0.99
GMT	16	9.1	13.4	11.9	7.0	29.0	19.5	0.0021	0.0009~0.0045	3.67	3.35~3.98	0.97
GST	76	3.5	15.0	8.3	0.4	27.4	5.4	0.0110	0.0088~0.0136	2.82	2.71~2.91	0.99