

Original article

## 하천 연속성 단절이 어류상에 미치는 영향: 밀양 단장천을 중심으로

허승빈<sup>1</sup> · 김강희<sup>1</sup> · 홍동현<sup>1</sup> · 이현식<sup>1</sup> · 김구연<sup>3,4</sup> · 주기재<sup>1</sup> · 조현빈<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 생명과학과, <sup>2</sup>부산대학교 환경·에너지연구소, <sup>3</sup>경남대학교 생명과학교육과,  
<sup>4</sup>경남대학교 생물다양성센터

**The Impact on Fish Assemblage by the River Connectivity Fragmentation: Case Study of the Danjang Stream, South Korea.** Seung-Been Heo<sup>1</sup> (0000-0002-7444-7900), Kang-Hui Kim<sup>1</sup> (0000-0002-8129-9934), Donghyun Hong<sup>1</sup> (0000-0002-7712-2685), Hyeon-Sik Lee<sup>1</sup> (0000-0002-1060-2430), Gu-Yeon Kim<sup>3,4</sup> (0000-0003-1071-0383), Gea-Jae Joo<sup>1</sup> (0000-0002-5617-7601), Hyunbin Jo<sup>1,2,\*</sup> (0000-0001-8064-7880) (<sup>1</sup>Department of Integrated Biological Science, Pusan National University; <sup>2</sup>Institute for Environment and Energy, Pusan National University, Busan 46241, Republic of Korea; <sup>3</sup>Department of Science Education, Kyungnam University, Changwon 51767, Republic of Korea; <sup>4</sup>Biodiversity Center, Kyungnam University, Changwon 51767, Republic of Korea)

**Abstract** Anthropogenic disturbances on freshwater ecosystem are known to degrade biodiversity, especially on fish assemblage. In this study, we have conducted fish surveys to identify impact of a bridge construction on fish assemblages. A total of eight study sites were surveyed in the Danjang and the Dong Stream in southern part of South Korea from June to November in 2021. The fish samplings were carried out five times, using cast-nets (10 × 10 mm mesh size), scoop-nets (4 × 4 mm, 5 × 5 mm mesh size), set-nets (10 × 10 mm mesh size), and fish traps (3 × 3 mm mesh size), along with the Stream/River Ecosystem Survey and Health Assessment by the Ministry of Environment of Korea and basic water quality measurement. Also, we applied the species diversity index and length-weight relationship regressions on certain species to identify interspecific growth rate differences in accordance with study sites. As a result, a total of 782 individuals, 23 species and 10 families were collected. The dominant species was *Zacco Koreanus* and relative abundance was 50.89%. When applying the length-weight relationship regressions on certain species, the 'b' value for *Z. Koreanus* was lower at the downstream points than at the upstream points of the construction site. In addition, when comparing to the results of the past survey, relative density of demersal fish at the upstream and downstream points decreased from 26% to 1.4%, and from 18% to 6.3%, respectively. In conclusion, it is considered that bridge construction negatively affects the habitat of fishes, especially on demersal fishes. Therefore, appropriate conservation efforts such as installation of silt protector and sand sedimentation pond are needed to alleviate the disturbance in habitat such as occurrence of turbidity and destruction of micro-habitats.

**Key words:** anthropogenic impact, bridge construction, benthopelagic fish, demersal fish, micro-habitats

Manuscript received 15 September 2022, revised 24 September 2022,  
revision accepted 25 September 2022  
\* Corresponding author: Tel: +82-51-510-3344, Fax: +82-51-583-0172  
E-mail: prozeva@pusan.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.

## 서 론

하천 연속성 개념(River Continuum Concept)은 하천의 연속적인 물리 환경이 변하며 이에 따라 서식하는 생물도 연속적으로 변하는 것을 의미한다(Vannote *et al.*, 1980; Doretto *et al.*, 2020). 이에 속하는 하천의 종적연속성은 어떠한 방해 없이 물이 단절되지 않고 흐르며, 그 속에서 생물의 이동 또한 자연스러운 것을 말한다. 보(weir)나 댐의 건설은 이러한 하천의 종적 연속성을 단절시켜 하천 생물의 생활사나 군집 구성에도 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Park *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2010). 우리나라에서는 안정적인 수자원 확보와 교통의 편의성을 위해 이러한 인공보와 댐을 비롯해 하천을 가로지르는 각종 공사들이 빈번히 시행되었으며, 이는 하천생태계 교란을 일으켰다(Kim *et al.*, 2005b). 댐 건설 이후에는 생물들의 산란장이 파괴되고 이동경로가 차단되는 것과 같이 하천생태계가 변하게 되며 궁극적으로 하천에 서식하는 생물 군집이 달라지고 생물다양성이 감소하는 문제가 발생한다(Lucas and Baras, 2001; Liu *et al.*, 2019). 그 중에서 하천생태계의 상위 영양단계에 속하는 어류는 인위적인 교란에 의해 미소서식처가 파괴되거나 물리적인 격리와 같은 직접적인 영향을 받음과 동시에 용존산소량과 염도와 같은 화학적인 요인에 의한 간접적인 영향을 받을 수 있어 환경변화에 민감히 반응하게 된다(Kim *et al.*, 2020). 환경변화가 어류에 미치는 영향은 어류의 길이-무게 관계분석 등과 같이 개체군의 건강성을 정량적으로 측정 방법으로 유추할 수 있다(Froese, 2006; Hong *et al.*, 2022).

하천 인공 구조물에 의해 발생하는 유속의 변화와 하상 구조의 변형은 어류 군집에 크고 작은 영향을 미치게 된다(Choi *et al.*, 2000). 하상 구조의 변화로 인해 저서성 어류(demersal fish)의 출현이 줄어드는 반면, 빠른 유속을 거슬러 올라갈 수 있는 일부 중층성 어류(benthopelagic fish)의 출현율이 높게 나타나기도 한다(Park and An, 2014). 위와 같은 인공적인 교란은 어류의 생활사에 따라 그 영향의 정도가 다를 가능성이 존재한다(Levin *et al.*, 2009). 저서성 어류는 하천 바닥의 바위나 자갈 아래에서 주로 서식하는 어류이며, 바닥 바로 위에서 뎀돌거나 헤엄치는 형태를 나타낸다. 저서성 어류는 물보다 밀도가 높아 음성부력(negative buoyancy)을 가져, 자연스럽게 바닥으로 가라앉을 수 있다. 이와 달리, 중층성 어류는 바다나 하천의 바닥과 중층수(midwater)를 자유롭게 오고 가며 생활하는 어류이며, 중성부력(neutral buoyancy)을 가지므로 큰 노력 없이 물에서 떠다닐 수 있다. 독을 비롯한 하천 인공 구조물 건설은 저질 환경의 변화를 초래하고 이는 저서성 어

류의 서식처에 상대적으로 더 큰 악영향을 미치기도 한다(Kwak and Huh, 2003). 하천 환경이 교란 받으며 발생하는 문제들은 하천을 가로지르는 건설 현장이 늘어남에 따라 전 세계적으로 심화되고 있다(Paragamian, 2002; Perônico *et al.*, 2020). 이러한 이유로 차후 개발 예정인 댐이나 보에 대해, 보전구역 설정과 같은 적절한 생태 보전방안의 필요성이 대두되고 있다(Li *et al.*, 2013).

단장천은 경상남도 밀양시에 위치하는 밀양강의 제1지류, 낙동강의 제2지류에 속하며 자연관광자원이 풍부한 지역하천이다(Lee *et al.*, 1998). 본 지역은 과거에 다목장어(*Lampetra reissneri*), 큰줄납자루(*Acheilognathus majusculus*), 얼룩새코미꾸리(*Koreocobitis nactongensis*) 및 꼬치동자개(*Pseudobagrus brevicorpus*)와 같은 멸종위기 야생생물을 포함한 고유 어종들의 서식지임이 확인된 바 있다(Yang, 1973; Kang, 2011). 그러나 최근 2020년부터 단장천에서 새로운 교량 건설이 진행되었고 2021년 2월경 공사 현장 조사에서는 탁수가 오탁방지망을 지나 하천으로 유입되었다. Choi *et al.* (2005)의 연구에 따르면, 교량건설로 인한 탁수 유입과 하상의 변화로 어류상의 영향을 미친다고 서술하였으며, 단장천에서도 이와 같은 영향이 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 교량 건설로 인한 생태계 교란 및 미소서식처 파괴가 예상되는 단장천에서의 어류상 변화를 파악한 후, 관리방안을 모색하고자 한다. 이를 통하여 추후 추가적인 건설 및 인위적인 교란이 예상되는 사업의 기초 자료로서 그 역할을 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사시기 및 지점

본 조사가 진행된 단장천은 유역면적이 350.13 km<sup>2</sup>로 유역면적의 약 76%가 표고 600 m에서 1000 m에 이르는 산지로 이루어져 있으며 유로연장 43.15 km에 달한다. 하상은 주로 자갈로 이루어져 있으며 평균경사는 하루로 갈수록 완만해지는 양상을 나타낸다(Hwang *et al.*, 2009). 조사 기간은 2021년 6월부터 11월까지이며 총 5회 현장 조사를 실시하였다. 경상남도 밀양시 단장천과 동천 내 총 8개의 지점(Fig. 1)에서 현장 조사를 실시하였으며 St. 1~2는 공사지점 기준 상류, St. 3은 공사지점, St. 4~8은 공사지점 기준 하류이다(Appendix 1). 각 조사지점의 행정구역 주소와 GPS 좌표는 Table 1과 같다.

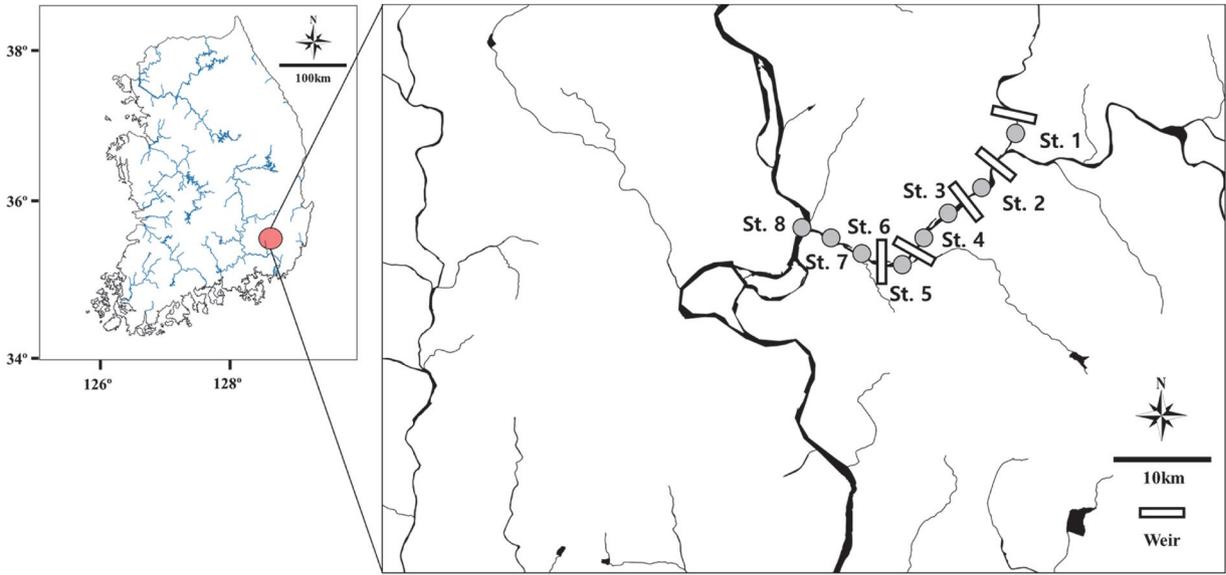


Fig. 1. A map showing study stations in Danjang Stream, Korea.

Table 1. Location of study stations and GPS coordinate (latitude & longitude).

Stream	Address	Latitude & Longitude
St. 1 Dong stream	475-1, Huigok-ri, Sanoe-myeon, Miryang-si, Gyeongsangnam-do, Republic of Korea	N35°31'32.45", E128°51'15.06"
St. 2	922-1, Danjang-ri, Danjang-myeon, Miryang-si, Gyeongsangnam-do, Republic of Korea	N35°31'32.34", E128°51'14.92"
St. 3	982-1, Geumgok-ri, Sanoe-myeon, Miryang-si, Gyeongsangnam-do, Republic of Korea	N35°30'4.87", E128°49'40.02"
St. 4	1300-1, Dajuk-ri, Sanoe-myeon, Miryang-si, Gyeongsangnam-do, Republic of Korea	N35°29'54.09", E128°49'23.25"
St. 5 Danjang stream	930-11, Dajuk-ri, Sanoe-myeon, Miryang-si, Gyeongsangnam-do, Republic of Korea	N35°29'38.76", E128°49'14.98"
St. 6	584-10, Hwalseong-dong, Miryang-si, Gyeongsangnam-do, Republic of Korea	N35°29'26.86", E128°48'18.40"
St. 7	177, Geumcheon-ri, Sanoe-myeon, Miryang-si, Gyeongsangnam-do, Republic of Korea	N35°29'40.31", E128°47'52.76"
St. 8	584-2, Hwalseong-dong, Miryang-si, Gyeongsangnam-do, Republic of Korea	N35°29'57.623", E128°47'5.74"

## 2. 조사 방법과 동정 방법

각 지점에서의 현장 조사는 하천 정점에서 실시하였다. 각 조사지점에서의 어류상 조사를 위하여, 채집 도구로는 투망(10×10 mm mesh size), 족대(4×4 mm, 5×5 mm mesh size), 하천정치망(10×10 mm mesh size), 통발(3×3 mm mesh size)을 사용하였다. 투망은 한 지점에서 동일 인

물이 10회씩 사용하여 조사하였으며, 족대로는 정점을 기준으로 상·하류 50 m씩, 총 100 m를 30분간 3인 1조로 조사하였으며, 다양한 서식처(여울부, 수변부 등)가 포함되도록 하였다. 투망과 족대의 경우, St. 1~3, St. 5~8에서 사용되었다. St. 2와 8의 경우, 과거문헌과의 정확한 비교를 위하여 하천정치망과 통발을 사용해 집중조사를 시행하였으며, 주행성 어종과 야행성 어종 모두 채집할 수 있도록 24

**Table 2.** Water quality parameters surveyed at 8 study stations in Danjang Stream.

Date	Study station	DO (mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	DO (%)	pH	Temperature (°C)	Conductivity (μS cm <sup>-1</sup> )	Salinity (ppt)
2021.6.5	1	9.14	102.7	7.85	21	60.3	0
	3	12.5	147.8	9.5	23.9	91.9	0
2021.6.23	2	10.42	120.9	9.2	23	44.3	0
	5	8.83	107.7	9.16	25.2	85	0
	6	10.93	138.1	9.59	27.6	88.7	0
	7	9.15	111.6	8.99	26	97.4	0.1
	8	9.46	114.4	9.11	23.5	100.2	0.1
2021.8.5	2	6.97	92.1	—	29.5	99.4	—
	8	8.72	118.2	—	31.6	128.4	—
2021.9.18	1	8.82	99.9	7.28	21.4	103.7	0
	2	8.75	101.5	7.58	22.7	79.3	0
	3	10.43	123.8	8.8	24.1	81.2	0
	4	8.61	102.4	7.82	24.5	82.3	0
	5	6.55	114.1	8.1	24.3	83.2	0
	6	7.89	93.8	8.24	24.1	95.4	0
	7	9.06	108.1	6.6	24.2	118.7	0
	8	9.73	119.5	8.85	26.2	101.1	0.1

시간 동안 설치한 후 회수하였다(Overnight).

각 지점마다 환경부에서 시행하는 하천 서식 및 수변환경 평가(MOE, 2020)와, 기초수질 조사를 함께 시행하였다. 하천 서식 및 수변환경 평가에서는 각 평가항목의 정해진 기준을 통해 점수를 측정하여 자연성을 평가하였다. 수질 조사에서는 DO meter (YSI Incorporated, 550A)를 이용하여 수온(°C)과 용존산소량(mg L<sup>-1</sup>, %), pH meter (Thermo Scientific, Orion Star A221)를 이용하여 pH, Conductivity meter (YSI Incorporated, 30)를 이용하여 전기전도도(μS cm<sup>-1</sup>)와 염도(ppt)를 측정하였다.

채집된 어류는 현장에서 동정 및 분류하였고 체장(cm, ±0.1 cm)과 무게(g, ±0.1 g)를 측정한 뒤, 어족 자원 보호를 위하여 동정 및 개체수 확인이 끝난 즉시 채집된 지점에 방류하였다. 채집된 어류의 동정 및 분류는 Kim and Park (2002)을 따랐고, 분류 체계는 Nelson (2006)을 따랐다.

### 3. 군집 분석 방법

단장천의 지점별 어류 군집구조를 비교하기 위해 각 조사지점에서 어류 군집의 다양도 지수(H), 풍부도 지수(RI), 균등도 지수(E) 및 우점도 지수(D)를 산출하였다(Simpson, 1949; Margalef, 1958; Shannon and Weaver, 1963;

Pielou, 1966). 또한 인위적인 교란이 단장천 어류의 종적 연속성에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 각 지점에서 채집된 어류 군집을 바탕으로 Euclidean distance를 활용하여 지점간 유사도 지수(d; Similarity and distance indices)를 계산하였으며, 비가중치 평균연결법(unweighted pair-group average, UPGMA)을 이용한 집괴분석을 사용하여 dendrogram으로 나타내었다(Podani and Schmera, 2006). 유사도 지수와 UPGMA 분석 시, St. 2와 8에서 진행된 집중조사의 영향을 배제하기 위하여 하천정치망과 통발을 이용해 채집된 개체들은 제외하고 결과값을 산출하였다. 위 과정은 모두 Past (version 4.07b; Hammer *et al.*, 2001)를 통하여 진행되었다.

상대풍부도(Relative abundance, RA)는(각 종의 채집 개체수/채집된 전체 어류의 개체수)×100(%)로 나타내었고 저서성 어류의 상대밀도는(채집된 저서성 어류의 개체수/채집된 전체 어류의 개체수)×100(%)로 산출하였으며 저서성 어류와 증충성 어류는 FishBase (Froese and Pauly, 2022)를 이용하여 구분하였다.

### 4. 개체군 분석 방법

어류의 전장과 체중을 이용한 단장천 내 어류에 대한 성장양상 비교를 위해 사용된 길이-무게 상관관계(length-

weight relationships, LWRs)는 SigmaPlot 10.0 (Systat Software, San Jose, CA)을 통해 계산되었다. 사용된 길이-무게 관계식은 아래와 같다.

$$W = aL^b$$

$$\ln(W) = \ln a + b \ln(L)$$

W: total weight (g), L: total length (cm), a, b: 매개변수

Froese (2006)에서 제시한 바에 따라 위 식에 의해 얻어진 개체군의 결정계수 (the coefficient of determination,  $r^2$ )가 0.95 이상 도달하기까지 이상점 (outlier)을 제거하였으며, 이때 산출된 회귀계수  $b$ 값을 이용하였다. 길이-무게 관계식은 특정 어류에 대하여 주어진 길이에 대응하는 무게를 산출하기 위해 고안되었으며, 매개변수  $a$ 는 어류의 체형,  $b$ 는 어류의 성장 양상을 해석하는 데 활용된다. 따라서 종들 내에서의  $a$ ,  $b$ 값을 비교함으로써 개체군의 영양상태를 간접적으로 추정할 수 있다 (Froese, 2006).

## 결과 및 고찰

### 1. 단장천의 이화학적 특성

본 연구 대상 지역인 단장천에서 수질의 월별 화학적 특성을 Table 2에 나열하였다. 단장천에서 월별 수질은 각 수질항목에 따라 상이한 경향을 나타냈는데, 월별 용존산소량 (DO)과 수온 분포특성을 보면 DO가 8월, 9월, 6월 순으로 낮아지고, 수온은 8월, 6월, 9월 순으로 높게 나타났다. 또한, 대부분의 조사에서 용존산소가 과포화되어 있었으며, 식물플랑크톤의 광합성과 같은 생물학적 요소에 의해 영향을 받은 것으로 판단된다 (Gelda and Effler, 2002). 9월의 지점별 전기전도도 (Conductivity)는 상류에서 하류로 내려갈수록 증가하여 하천의 일반적인 특성을 나타냈다 (Kang and An, 2006; Kwon and An, 2006).

조사 지점에 대한 하천 서식 및 수변환경 평가 점수 결과를 Table 3에 나타내었다. 하천 서식 및 수변환경 평가 결과에 따르면, 상류지점 (St. 1, 2)에서는 황구조물에 대한 점수가 하류 지점들에 비해 상대적으로 낮게 나타났다. 상류지점의 황구조물에 존재하는 어도는 수면에서 너무 높기 위치하여 제 기능을 못한 것으로 판단되어 낮은 점수를 기록하였으며, 이로 인한 물리적 단절은 어류에게 서식지 단편화 (habitat fragmentation)와 같은 교란을 유발할 것으로 판단된다 (Perônico *et al.*, 2020). St. 3에서는 중형사주가 1점, 좌·우안 하도 자연성과 하안공, 유속 다양성이 각각 5점으로, 타 지점들에 비해 상대적으로 낮게 나타났다. St. 4

Table 3. Results of the Stream/River Ecosystem Survey and Health Assessment by the Ministry of Environment conducted at each survey stations.

Year	Natural sand bars	Natural river channel		Diversity of velocity	Riparian		Leeve material				Sediment condition				Transverse structure		Riverside land (Land out)		Inundation area (Land in)		
		Left	Right		Left	Right	Large rock	Gravel	Sand	Silt	Concrete	Dominated	Total	Left	Right	Left	Right	Left	Right		
St. 1 2021	10	15	15	30	25	25	5	5	5	5	0	0	0	0	0	20	3	3	3	10	10
St. 2 2021	10	25	25	30	25	25	5	5	5	0	0	0	0	0	0	20	0	10	3	10	3
St. 3 2021	1	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	20	0	1	10	3	10
St. 4 2021	0	0	0	0	3	3	10	10	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	3	3	3
St. 5 2021	10	5	5	30	25	25	10	10	0	0	0	0	0	0	0	20	10	10	10	10	0
St. 6 2021	10	25	10	30	25	25	20	10	10	0	0	0	0	0	0	20	30	10	10	10	1
St. 7 2021	10	15	15	30	25	25	5	5	0	0	0	0	0	0	0	20	10	10	5	10	5
St. 8 2021	10	10	25	30	25	25	10	20	0	0	0	0	0	0	0	20	30	10	10	1	10

**Table 4.** A list of fish species and number of individuals collected from the surveyed stations in Danjang Stream, Korea.

Scientific name	Korean name	Sampling sites								Total		Remarks	
		St. 1	St.2	St.3	St.5	St.6	St.7	St.8	N	RA			
Cyprinidae	잉어과												
<i>Carassius auratus</i>	붕어							1	1	0.13			
<i>Acheilognathus koreensis</i>	칼납자루		28		3			2	33	4.22	※		
<i>Acheilognathus majusculus</i>	큰줄납자루							1	1	0.13	※		
<i>Pungtungia herzi</i>	돌고기	4	98	1	4		1	8	116	14.83			
<i>Coreoleuciscus aeruginos</i>	참쉬리	3	12	11	7	6	8	14	61	7.80	※		
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	긴몰개	1	3	1					5	0.64	※		
<i>Pseudogobio esocinus</i>	모래무지		1						1	0.13			
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	돌마자		2	1				3	6	0.77	※		
<i>Zacco koreanus</i>	참갈겨니	53	237	1	90	7	2	8	398	50.89	※		
<i>Zacco platypus</i>	피라미	2	85	1	1		13	8	110	14.07			
Cobitidae	미꾸리과												
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	미꾸리		1						1	0.13			
<i>Iksookimia longicorpus</i>	왕종개		1						1	0.13	※		
<i>Niwaella multifasciata</i>	수수미꾸리	1					5	2	8	1.02	※		
Siluridae	메기과												
<i>Silurus microdorsalis</i>	미유기		4						4	0.51	※		
Amblycipitidae	통가리과												
<i>Liobagrus mediadiposalis</i>	자가사리	2	2						4	0.51	※		
Osmeridae	바다빙어과												
<i>Plecoglossus altivelis</i>	은어							2	2	0.25			
Salmonidae	연어과												
<i>Onchorhynchus keta</i>	연어							1	1	0.13			
Centropomidae	꼭지과												
<i>Coreoperca herzi</i>	꼭지		8	1			1	4	14	1.79	※		
Centrarchidae	검정우럭과												
<i>Lepomis macrochirus</i>	블루길							5	5	0.64	▲		
<i>Micropterus salmoides</i>	베스							2	2	0.25	▲		
Odontobutidae	동사리과												
<i>Odontobutis platycephala</i>	동사리	2	2					2	6	0.77	※		
<i>Odontobutis interrupta</i>	얼룩동사리							1	1	0.13	※		
Gobiidae	망둥어과												
<i>Rhinogobius brunneus</i>	밀어		1						1	0.13			
Number of individuals		68	485	17	105	13	30	64	782	100.00			
Number of species		8	15	7	5	2	6	16	23				

RA, Relative Abundance (%); ※ Korean Endemic species; ▲ Exotic species

에서 동일한 지점에서 시행되었던 NIER (2018)의 2018년도 조사결과에 따르면, 중형사주, 좌·우안 하도 자연성과 하안공이 각각 10점이었으며, 유속다양성이 15점으로 나타나 본 조사 결과보다 상대적으로 높게 나타났다(Table 3). St. 4에서 평가점수가 감소한 것은 하천 상에 신설된 도로와 가교로 인해 정수역 확장과 하안공 직강화 등의 교란이 발생했기 때문으로 판단된다. 위와 같은 교란은 하천생

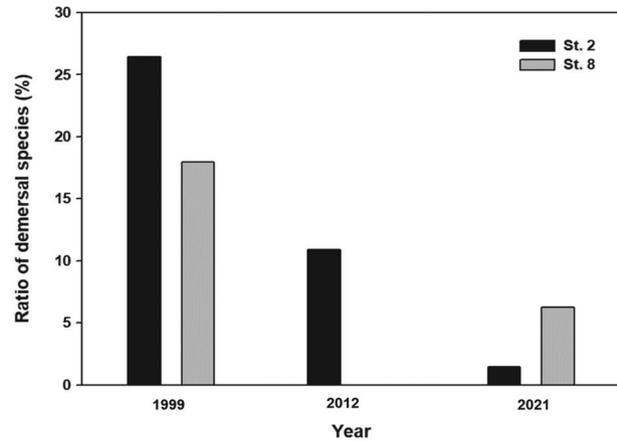
물의 서식지를 감소시켜 생물다양성이 낮아지며, 하천생태계에서 상위 영양단계에 속하는 어류 군집에 상당한 영향을 줄 것으로 예상된다(Jang *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2020).

## 2. 단장천의 어류군집 구조

본 조사에서 총 10과, 23종, 782개체가 채집되었다. 채집

**Table 5.** Biological index of the fish community at the 8 study stations in Danjang Stream.

	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8
Diversity (H)	0.985	1.507	1.458	0	0.602	0.729	1.504	2.547
Richness (RI)	1.659	2.264	2.118	0	0.860	0.390	1.470	3.607
Evenness (E)	0.474	0.556	0.749	0	0.374	1.051	0.839	0.919
Dominance (D)	0.610	0.313	0.404	0	0.739	0.462	0.269	0.099



**Fig. 2.** Proportion of demersal species at study station 2 (1999, 2012, 2021) and study station 8 (1999, 2021).

된 모든 어류 중 한국고유종은 칼납자루 (*Acheilognathus koreensis*), 큰줄납자루 (*A. majusculus*) 등, 총 6과, 13종이 채집되었으며, 전체 어종수의 56.5%로 나타났다. 이는 한반도의 평균 고유종 빈도인 28.8% (Kim *et al.*, 2005a) 보다 상대적으로 높은 수치로, 대부분의 조사지점에서 유속다양성과 종횡사주가 많이 존재하여 (Table 3), 여울과 소가 잘 보전되어 있기 때문으로 판단된다 (Lee *et al.*, 2009). 전체 출현 어종 중 우점종은 참갈겨니 (*Zacco koreanus*)로 RA 50.89%로 나타났으며, 아우점종은 돌고기 (*Pseudopungtungia herzi*, RA 14.83%)와 피라미 (*Zacco platypus*, RA 14.07%)의 순으로 나타났다 (Table 4). 우점종의 분포를 지점별로 살펴보면, St. 1, 2, 5, 6에서는 참갈겨니, St. 3과 8에서는 참쉬리 (*Coreoleuciscus aeruginos*), St. 7에서는 피라미로 우점종의 연속성이 단절된 것을 확인할 수 있었다. 단장천의 경우, 조사지점 사이마다 크고 작은 보가 존재하기 때문에 (Fig. 1) 보와 댐 같은 횡구조물로 인한 물리적 단절, 서식지 단편화, 하천 체류시간의 증가 등으로 인해 어류의 이동에 제약이 생겨 우점종의 연속성이 단절된 것으로 판단된다 (Hong *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2010; Perónico *et al.*, 2020). 어류상의 생물지수 분석을

통해 산출된 다양도, 풍부도, 균등도, 우점도를 살펴보면 (Table 5), 다양도는 St. 8에서 2.55로 가장 높게 나타났으며, St. 2, 3, 7에서도 1.4 이상의 값을 나타냈다. 반면에 공사지점과 가까운 하류 지역인 St. 5에서는 0.60으로 가장 낮게 나타났다. 풍부도는 St. 8에서 3.61로 가장 높게 나타났으며, St. 2와 3의 경우 또한 하류에 존재하는 풍부도 값보다 상대적으로 높게 나타났다. 균등도는 St. 6에서 1.05로 가장 높게 나타났고 St. 1, 2, 5에서 0.6 이하로 비교적 낮게 나타났다. St. 6의 경우, 채집된 전체 어종수가 두 종밖에 되지 않아 균등도가 상대적으로 높게 나타난 것으로 판단되며, St. 1, 2, 5에서는 참갈겨니가 극우점하는 양상을 보여 균등도가 비교적 낮은 값을 보이는 것으로 판단된다. 우점도는 St. 1과 5에서 균등도와 상반되게 각각 0.61, 0.74로 가장 높았고 St. 7과 8에서 0.3 이하로 상대적으로 낮게 나타나, 하류지점 (St. 7과 8)은 전반적으로 한 종이 우점하지 않고 다양한 종들이 분포하는 것으로 해석된다. 따라서 최하류 지점 (St. 8)과 하류 지점 (St. 7)과 상류 지점 (St. 2)에서도 비교적 안정적인 군집을 이루고 있지만 공사지점과 가까운 St. 5와 6에서는 참갈겨니가 극우점하고 있어 다양성이 낮은 군집구조를 지닌 것으로 판단된다.

St. 2와 8을 대상으로 생활형에 따른 어류상의 변화를 파악하기 위해 저서성과 중층성으로 나누어 출현종의 구성비를 과거 문헌 (Chae *et al.*, 1999; Kang, 2011)과 비교한 결과, 저서성 어류의 감소가 두드러지게 나타났다 (Fig. 2). 채집된 종 내 저서성 어류의 상대밀도는 St. 2에서 시간이 지남에 따라 26.4%, 10.9%, 1.44%로 점진적으로 감소하였으며, St. 8에서도 18.0%였던 상대밀도가 6.25%로 감소하였다. 이는 교량건설이 일으키는 탁수 유입, 유속의 변화, 하상구조의 변화와 같은 1차적인 하천 교란 (Kim *et al.*, 2005b)이 하천의 하상에서 서식하는 저서성 어류의 미소서식처에 일부 부정적인 영향을 미친 것으로 판단된다. 하지만 문헌조사 간의 시간적 간격이 약 10년으로 비교적 많은 시간이 흐른 탓에 교량건설로 인한 영향을 명확히 판단하는 데에는 한계가 존재한다. 또한 2010년에 진행된 단장천 내 보 건설 (National Fishway Information System,

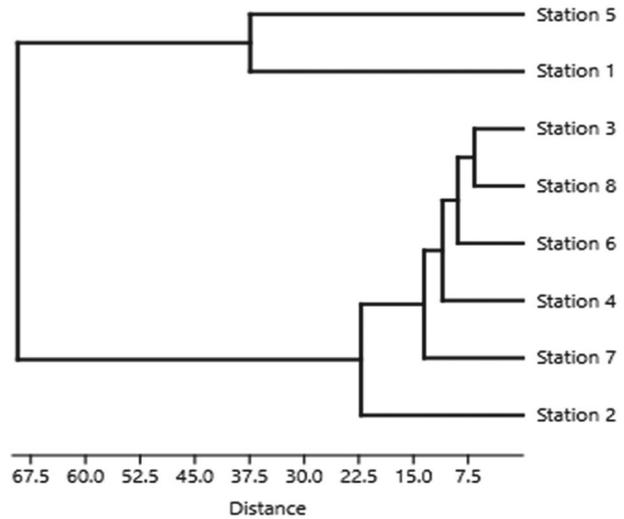
**Table 6.** Similarity and distance indices among the fish community in the 8 study areas of Danjang Stream (Populations collected using set-nets and fish traps at St. 2 and 8 were excluded from the analysis process).

	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8
St. 1								
St. 2	48.28							
St. 3	52.81	21.95						
St. 4	53.37	23.35	11.27					
St. 5	37.39	84.03	89.79	90.14				
St. 6	46.42	21.40	8.12	9.22	83.37			
St. 7	52.83	22.36	13.86	16.58	89.48	15.36		
St. 8	51.95	21.91	6.63	12.53	88.90	9.70	8.37	

2022)과 이후 진행된 생태하천복원공사(2011~2014년)와 고향의 강 정비사업(2014~2018; Milryang City, 2022) 등으로 인하여 일시적으로 교란되었을 가능성이 존재하는 것으로 판단되며, 어도 건설 및 정비사업은 교량 건설과 유사하게 하천의 종적 연속성을 단절시켜 어류 군집 구성에 영향을 가한 것으로 사료된다. 2018, 2021년 진행되었던 NIER (2018, 2021) 조사에 따르면, St. 4에서의 저서 어류 비율은 각각 6%, 4.6%로, 공사 이후 감소하였으나 상대적으로 큰 차이를 보이지 않아 교량건설 전후의 차이로 인한 변화로 보기에 한계가 있다. 따라서 추후의 교량건설과 같은 하천 연결성을 저해하는 구조물에 대한 평가를 하기 위해서는 건설 전-후를 포함하는 정량적인 모니터링이 요구된다.

### 3. 지점에 따른 어류 개체군 비교

각 지점 간의 유사도 지수를 Euclidean distance를 이용하여 Table 6에 나타내었다. 유사도가 가장 높았던 곳은 St. 3과 8 사이로, 유사도 지수가 6.63으로 제일 낮았으며, 하류 지점인 St. 6~8과 공사구역인 St. 3, 큰 보로 인해 정수 구간의 존재하는 St. 4 간에는 유사도 지수가 17 이하로 낮게 나타나 비교적 높은 유사도를 나타내었다. 이는 St. 3에서 공사로 인해 유속다양성이 줄어들고 하천이 정수화되어 하류인 지점들과 유사한 큰 규모의 여울역이 만들어졌기 때문으로 추정된다(Kim *et al.*, 2014). 지점별 군집 간의 관계를 나타내는 dendrogram을 사용하여 집괴분석을 한 결과, 조사지점은 총 4개의 cluster로 나뉘는 것을 확인할 수 있었으며(Fig. 3), 첫 번째는 St. 1, 두 번째는 St. 5, 세 번째는 St. 3, 8, 6, 4, 7, 네 번째는 St. 2로 나뉘었다. St. 3은 공사가 이루어졌고 St. 4와 6은 보가 설치되어 있어 정수역이 넓어지고 유속이 느려지는 것과 같은 환경 변화로



**Fig. 3.** A dendrogram for the hierarchical cluster analysis based on the fish assemblages collected at the study stations in the Danjang Stream. We calculated the dendrogram using the UPGMA algorithm utilizing Euclidean distance. Populations collected using set-nets and fish traps at St. 2 and 8 were excluded from the analysis process.

인해 하류지점인 St. 7, 8과 하나의 cluster로 구분된 것으로 사료된다(Chae *et al.*, 1998).

Wimberger (1992)에 따르면 어류는 초기 먹이원 및 환경적인 차이에 의해 개체군 내 및 개체군 간의 체형의 차이가 나타날 수 있다. 본 연구의 결과에 따르면, 전체 출현 어종 중 우점종과 아우점종들의 길이-무게 상관관계 회귀 계수  $a$ 의 값의 경우 참갈겨니가 0.0047, 피라미가 0.0064, 돌고기가 0.0057, 참쉬리가 0.0108의 값을 나타냈으며,  $b$ 값은 참갈겨니가 3.28, 피라미가 3.16, 돌고기가 3.22, 참쉬리는 2.91로 나타났다(Fig. 4). Froese and Pauly (2022)가 제시한 4종에 대한  $a$ ,  $b$ 값 추정치(Bayesian approach)와 실제 측정값을 비교해보면(Table 7), 단장천의 참갈겨니, 피라미의  $a$ 값이 비교적 작은 값을 나타냈으며, 참쉬리의  $b$ 값이 비교적 작게 나타난 것을 확인하였다. 추가적으로 공사지점(St. 3)보다 상류지점인 St. 1과 하류지점인 St. 5에서 채집된 참갈겨니의 길이-무게 상관관계 분석에 따르면, 회귀 계수  $b$ 값은 St. 1에서 3.36, St. 5에서 3.10으로 공사지점 기준 상류지점보다 하류지점에서 참갈겨니의 성장양상이 상대적으로 부실한 것으로 나타났다(Fig. 5). 참갈겨니의 경우 중층성 어류이나 대부분의 먹이원을 주로 저서무척추 동물인 수서곤충으로 하는 충식종(insectivore)으로(Yang *et al.*, 2012), 해당 어류의 영향상태가 하천 저질생태계에 좌우될 것으로 판단되고 있다. 따라서 공사지점으로부터 유입된 토사 혹은 오염물질에 의해 공사지점 하류에 서식

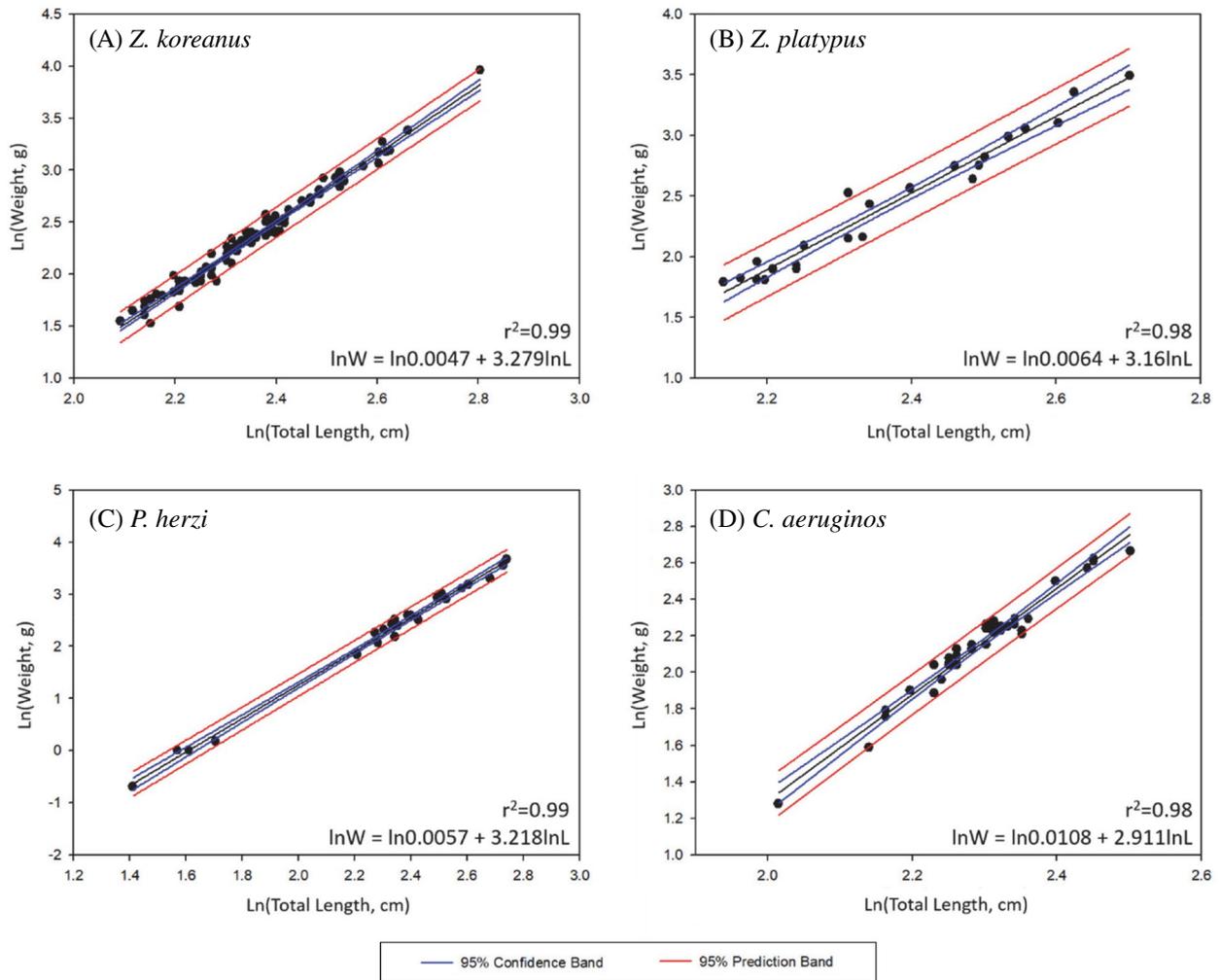


Fig. 4. Simple (linear) regression analysis on the data by calculating length-weight relationships. When  $r^2$  is over 0.95, the parameter  $b$  is (A) 3.28 for *Zacco koreanus*, (B) 3.16 for *Zacco platypus*, (C) 3.22 for *Pungtungia herzi*, and (D) 2.91 for *Coreoleuciscus aeruginosa*.

하는 참갈겨니 개체군의 건강도가 먹이원으로부터 부정적인 영향을 받은 것으로 평가된다.

#### 4. 관리를 위한 제언

우리나라의 경우 하천공사를 진행할 때 오탁방지망 설치, 사후 관리 등의 활동(Kim and Jong, 1998)을 통하여 최대한 저서·중층성 어류를 보전한다. 하지만 단장천에서는 군집의 연속성이 훼손되고 어류 개체군의  $b$ 값이 감소하는 등 위와 같은 보전활동이 상대적으로 잘 이루어지지 않은 것으로 해석된다. 따라서 우리는 다음과 같은 제언을 통하여 교량 공사와 같은 인위적인 활동에도 어류생태계에 대한 서식처 교란을 최소화하고자 한다.

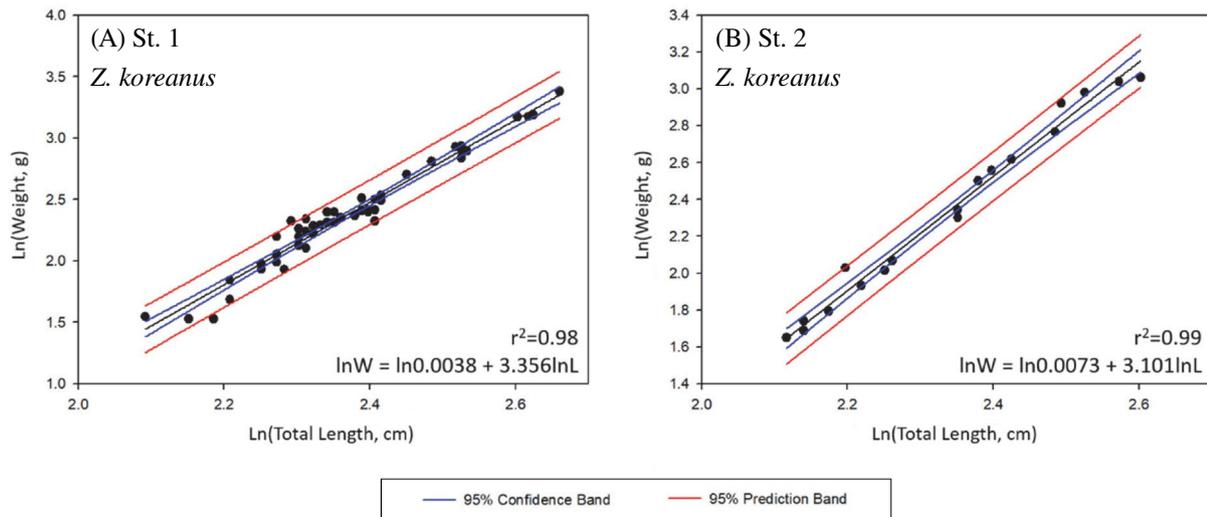
첫째, 적절한 오탁방지망의 사용이 필요하다. 공사로 인

해 하천으로 유입되는 물질은 점착성토사, 비점착성토사, 오염물질 등 다양한 형태로 방류가 되는데, 이러한 물질 중 우점하는 물질의 종류, 유입되는 물질의 입자크기, 접근 유속등의 특성을 확인하고 그에 맞는 오탁방지망의 종류와 막체 깊이, 오탁방지망 설치 위치를 설정해야 한다. 예를 들어 Hong (2010)의 연구에 의하면 입자의 크기가 작은 비점착성 토사 및 오염물질은 오탁방지망에 의해 효과적으로 차단되지만, 점착성토사의 경우 접근유속이 크고 막체 깊이가 지나치게 깊다면 오히려 저층의 농도가 증가한다고 알려져 있다. 따라서 오탁방지망의 설치위치와 막체 깊이를 재조정하는 방법은 탁류와 토사 확산을 차단하며, 추후 사후관리 방면으로도 용이할 것으로 판단된다.

둘째, 적정규모의 침사지를 설치하여 토사유출을 최소화해야 한다. 인간의 활동에 따른 교란(anthropogenic

**Table 7.** Comparisons of dominant four species' Length-Weight relationship parameters  $a$  and  $b$  between Bayesian approach and Field sampling. Bayesian approach values were referred from FishBase.

Species	Bayesian approach		Field sampling	
	$a$	$b$	$a$	$b$
<i>Zacco Koreanus</i>	0.00661 (0.00436~0.01002)	3.13 (3.01~3.25)	0.0047	3.279
<i>Zacco Platypus</i>	0.00832 (0.00715~0.00967)	3.10 (3.06~3.14)	0.0064	3.16
<i>Pseudopungtungia tenuicorpa</i>	0.00603 (0.00291~0.01246)	3.11 (2.94~3.28)	0.0057	3.218
<i>Coreoleuciscus aeruginos</i>	0.00977 (0.00558~0.01710)	3.21 (3.06~3.36)	0.0108	2.911

**Fig. 5.** Comparing simple (linear) regression analysis on the data by calculating length-weight relationships of *Zacco koreanus* between St. 1 (upstream study station) and St. 5 (downstream study station). When  $r^2$  is over 0.95, the parameter  $b$  is (A) 3.36 in St. 1 and (B) 3.10 in St. 5.

disturbance)을 최소화하기 위하여, 공사현장에서는 과거부터 부유물질 혹은 오염물질을 여과하고 퇴적물을 걸러내는 침사지가 활용되었다. 유속이 빠른 곳에서는 오탁방지막의 토사침전 효과가 낮아지기 때문에(Oh and Song, 2003) 효과적인 부유 및 퇴적물 제거를 위하여 하천 기초연구(수질 및 탁도, 강우 유입량, 토사입자 크기 등)를 추가적으로 진행해 정확한 침사지의 제원을 설정해야 할 필요성이 있을 것으로 판단된다(Woo and Hwang, 1999).

## 적 요

인위적 교란은 담수 생태계에서 어류 군집의 생물다양성을 저하시키는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 교란 건설이 어류 군집에 미치는 영향을 파악하기 위해, 단장천과 동천 내 총 8개 지점에서 2021년 6월부터 11월까지 어

류조사를 총 5회 실시하였다. 조사 결과, 총 10과 23종 782 개체가 채집되었으며, 우점종은 참갈겨니(*Zacco Koreanus*)로 상대풍부도(Relative Abundance)는 50.89%로 나타났다. 유사도 지수와 UPGMA 결과, St. 3은 공사로 인해 정수역이 형성되고 하류 지점과 하상이 유사해졌음을 유추할 수 있다. 생활상에 따라 어류를 저서성(demersal)과 중층성(benthopelagic)으로 나누었을 때, 중층성 어류인 참갈겨니의 건강도가 공사지점 기준 상류지점보다 하류지점에서 낮게 나타났으며, 저서성 어류의 상대밀도는 과거에 비해 상류지점, 하류지점 모두 감소한 것으로 나타났다. 이는 교란 건설이 어류의 서식지에 부정적인 영향을 미치며, 특히 저서성 어류의 서식환경에 부정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 공사에 의한 서식지 단편화, 미소서식처 파괴와 같은 교란을 완화하기 위해서는 하천의 저질상태, 유속 등을 고려한 오탁방지막과 침사지 설치와 같은 보전 방안이 필요한 것으로 사료된다.

**저자정보** 허승빈(부산대학교 생명과학과 학사과정), 김강희(부산대학교 생명과학과 석사과정), 홍동현(부산대학교 생명과학과 박사과정), 이현식(부산대학교 생명과학과 학사과정), 김구연(경남대학교 생명과학교육과 교수), 주기재(부산대학교 생명과학과 교수), 조현빈(부산대학교 환경·에너지연구소 연구교수)

**저자기여도** 개념설정: 조현빈, 홍동현, 조사 및 실험: 김강희, 이현식, 조현빈, 허승빈, 홍동현, 자료분석: 조현빈, 허승빈, 홍동현 원고작성: 허승빈, 조현빈

**이해관계** 본 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음.

**연구비** 이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2020R1C1C1009066).

## REFERENCES

- Chae, B.S., M.M. Nam, Y.H. Kang and H.J. Yang. 1999. Fish community structure of the Miryang River, Nakdong River system. *Korean Journal of Limnology* **32**(1): 58-68.
- Chae, B.S., Y.H. Kang and H.J. Yang. 1998. Fish community structure in the Wicheon River, Nakdong River system, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **10**(1): 77-86.
- Choi, J.K., H.K. Byeon and H.K. Seok. 2000. Studies on the dynamics of fish community in Wonju Stream. *Korean Journal of Limnology* **33**(3): 274-281.
- Choi, J.K., H.S. Shin and J.S. Choi. 2005. Fish community analysis in the Wonju-Stream. *Korean Journal of Environment and Ecology* **19**(1): 46-54.
- Doretto, A., E. Piano and C.E. Larson. 2020. The River Continuum Concept; lessons from the past and perspectives for the future. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **77**(11): 1853-1864.
- Froese, R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology* **22**(4): 241-253.
- Froese, R. and D. Pauly. Editors. 2022. FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (06/2022).
- Gelda, R.K. and S.W. Effler. 2002. Estimating oxygen exchange across the air-water interface of a hypereutrophic lake. *Hydrobiologia* **487**: 243-254.
- Hammer, Ø., D.A.T. Harper and P.D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* **4**(1): 9pp.
- Hong, D., G.J. Joo, E. Jung, J.S. Gim, K.B. Seong, D.H. Kim, M.J.M. Lineman, H.W. Kim and H. Jo. 2022. The spatial distribution and morphological characteristics of Chum Salmon (*Oncorhynchus keta*) in South Korea. *Fishes*. **7**(1): 27.
- Hong, J.S., I.S. Seo, K.T. Yoon, I.S. Hwang and C.S. Kim. 2004. Notes on the benthic macrofauna during september 1997 Namdaecheon estuary, Gangneung, Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* **22**(2): 341-350.
- Hong, N.S. 2010. Investigation of reducing characteristics for the spreading of dredging soil and the diffusion of contaminant by silt protector curtain through three dimensional numerical model experiment. *Journal of Ocean Engineering and Technology* **24**(4): 78-85.
- Hwang, S.I., S.O. Yoon and J.M. Choi. 2009. Geomorphic development of floodplain at the middle lower part of Miryang River in a tributary of Nakdong River in Korea with the reference to the quaternary climate change. *Journal of the Korean Geomorphological Association* **16**(2): 15-27.
- Jang, C.L., J.T. Kim and K.M. Lee. 2007. Study on the investigation of river disturbance in Korea, p. 946-950. In: Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference. Korea Water Resources Association.
- Kang, S.A. and K.G. An. 2006. Spatio-temporal variation analysis of physico-chemical water quality in the Yeongsan-River watershed. *Korean Journal of Ecology and Environment* **39**(1): 73-84.
- Kang, Y.H. 2011. Fish fauna and structural change of the fish community in the Nakdong River. Kyungpook National University.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. Freshwater fishes of Korea. Kyo-Hak Publishing, Korea.
- Kim, I.S., Y. Choi, C.L. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Lim. 2005a. Illustrated book of Korean fish. Kyo-Hak Publishing, Seoul, Korea.
- Kim, J.H., S.H. Park, S.H. Baek, M.H. Jang and J.D. Yoon. 2020. Changes in fish assemblages after dike construction in the Saemangeum area. *Ocean Science Journal* **55**(1): 129-142.
- Kim, K.Y. and Y.C. Jong. 1998. Diffusion of the suspended matter caused by dredging and the effect of the single silt protector. *Journal of Ocean Engineering and Technology* **2**(3): 1-8.
- Kim, S.G., C. Kim and J.M. Jeong. 2005b. Evaluation of River Naturalness Before and After the Stream Improvement, p. 1296-1301. In: Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference. Korea Water Resources Association.
- Kim, S.H., W.O. Lee and K.H. Cho. 2014. Effects of habitat disturbance on fish community structure in a gravel-bed stream, Korea. *Ecology and Resilient Infrastructure* **1**(2): 49-60.
- Kwak, S.N. and S.H. Huh. 2003. Changes in species composition of fishes in the Nakdong River estuary. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **36**(2): 129-135.
- Kwon, Y.S. and K.G. An. 2006. Biological stream health and

- physico-chemical characteristics in the Keum-Ho River watershed. *Korean Journal of Limnology* **39**(2): 145-156.
- Lee, J.N., Y.K. Park and C.M. Choe. 1998. Flora of phytoplankton in Milyang River. *Journal of Environmental Science International* **7**(5): 607-613.
- Lee, K.Y., H.R. Jang and J.S. Choi. 2010. River continuum pattern of Palmi Stream by fish community. *Journal of Environment* **7**(1): 67-74.
- Lee, K.Y., J.G. Gang, Y.H. Jeon and J.S. Choi. 2009. Current status of fish community at Palmi Stream, Korea. *Journal of Environment* **6**: 21-35.
- Levin, L.A., W. Ekau, A.J. Gooday, F. Jorissen, J.J. Middelburg, S.W.A. Naqvi, C. Neira, N.N. Rabalais and J. Zhang. 2009. Effects of natural and human-induced hypoxia on coastal benthos. *Biogeosciences* **6**(10): 2063-2098.
- Li, J., S. Dong, M. Peng, Z. Yang, S. Liu, X. Li and C. Zhao. 2013. Effects of damming on the biological integrity of fish assemblages in the middle Lancang-Mekong River basin. *Ecological Indicators* **34**: 94-102.
- Liu, X., J. Qin, Y. Xu, S. Ouyang and X. Wu. 2019. Biodiversity decline of fish assemblages after the impoundment of the three Gorges Dam in the Yangtze River basin, China. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **29**(1): 177-195.
- Lucas, M.C. and E. Baras. 2001. Migration of freshwater fishes. Oxford, Blackwell Science.
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *General Systems* **3**: 36-71.
- Milryang City. 2022. <https://www.miryang.go.kr/web/index.do>. Accessed in 2022.9.21.
- National Fishway Information System. 2022. <http://www.fishway.go.kr>. Accessed in 2022.9.21.
- National Institute of Environmental Research (NIER). 2018. Water Environment Information System. NIER, Incheon, Korea.
- National Institute of Environmental Research (NIER). 2021. Water Environment Information System. NIER, Incheon, Korea.
- Ministry of Environment (MOE). 2020. Stream/river ecosystem survey and health assessment. MOE, Sejong, Korea.
- Nelson, J.S. 2006. Fishes of the world 4th ed. John Wiley and Sons, New York, U.S.A.
- Oh, Y.M. and W.O. Song. 2003. Comparison of silt protector design between Korea and Japan. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers* **15**(1): 66-70.
- Paragamian, V.L. 2002. Changes in the species composition of the fish community in a reach of the Kootenai River, Idaho, after construction of Libby Dam. *Journal of Freshwater Ecology* **17**(3): 375-383.
- Park, C.S. and K.G. An. 2014. Fish passage assessments in the fishway of Juksan Weir constructed in the downstream area of Youngsan-River watershed. *Journal of Environmental Science International* **23**(8): 1513-1522.
- Park, Y.S., J. Chang, S. Lek, W. Cao and S. Brosse. 2003. Conservation strategies for endemic fish species threatened by the three Gorges Dam. *Conservation Biology* **17**(6): 1748-1758.
- Perônico, P. B., C.S. Agostinho, R. Fernandes and F.M. Pelicice. 2020. Community reassembly after river regulation: rapid loss of fish diversity and the emergence of a new state. *Hydrobiologia* **847**(2): 519-533.
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology* **13**: 131-144.
- Podani, J. and D. Schmera. 2006. On dendrogram-based measures of functional diversity. *Oikos* **115**(1): 179-185.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, Illinois.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* **163**(4148): 688-688.
- Vannote, R.L., G.W. Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell and C.E. Cushing. 1980. The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **37**(1): 130-137.
- Wimberger, P.H. 1992. Plasticity of fish body shape, the effects of diet, development, family and age in two species of Geophagus (Pisces: Cichlidae). *Biological Journal of the Linnean Society* **45**(3): 197-218.
- Woo, C.H. and K.W. Hwang. 1999. A study on establishing optimum scale of sediment basin for preventing the outflow of sediment - In the case of Buju Mountain in Mokpo city, Korea -. *Journal of Korean Institute of Landscape Architecture* **26**(4): 59-69.
- Yang, H.J. 1973. Studies on the fishes from the Nakdong River - The list of fishes and their distribution. *Korean Journal of Limnology* **6**(1): 19-36.
- Yang, S.G., Y.C. Cho, H. Yang and E.J. Kang. 2012. Characteristics of fish fauna and community structure in Yongdam Reservoir by inhabiting environment changes. *Korean Journal of Environmental Biology* **30**(1): 15-25.



Appendix 1. On-site photos and standard of study stations in Danjang Stream.