

청계천의 어류상 및 피라미(*Zacco platypus*) 개체군 현황

왕주현, 최원섭¹, 최준길¹, 이황구^{1,*}

상지대학교 환경공학과, ¹상지대학교 생명과학과

Current status of fish fauna and *Zacco platypus* population in the Cheonggyecheon stream

Ju Hyoun Wang, Won Sub Choi¹, Jun Kil Choi¹ and Hwang Goo Lee^{1,*}

Department of Environmental Engineering, College of Science & Engineering, Sangji University, Wonju 26339, Republic of Korea

¹Department of Biological Science, College of Science & Engineering, Sangji University, Wonju 26339, Republic of Korea

*Corresponding author

Hwang Goo Lee
Tel. 033-730-0434
E-mail. morningdew@sangji.ac.kr

Received: 6 February 2021

Revised: 5 March 2021

Revision accepted: 11 March 2021

Abstract: This study aimed to present the current status of exotic fish species, invasive species, and dominant species inhabiting the Cheonggyecheon stream. We conducted three samplings from April to October 2019. A total of 2,045 individuals from 27 species belonging to nine fish families were collected. There were five Korean endemic species (18.5%) including *Coreoleuciscus splendidus*, *Sarcocheilichthys nigripinnis morii*, *Squalidus gracilis majimae*, *Zacco koreanus*, and *Odontobutis interrupta* in the Cheonggyecheon stream. The dominant species was *Zacco platypus* (62.4%) and the subdominant species was *Z. koreanus* (9.8%). The length-weight analysis of the dominant species *Z. platypus* population showed a regression coefficient b of 3.3434 and a condition factor (k) of 0.0026, with a positive slope. The growth state of the *Z. platypus* population was identified as being in a very favorable condition. The Cheonggyecheon stream is considered to be an appropriate habitat for the *Z. platypus* population. Since the restoration, The Cheonggyecheon stream has had continuous problems due to the introduction of exotic species and invasive species and in this study, exotic species, *Gyrinocheilus aymonier* var. (gold type), and invasive species, *Coreoleuciscus splendidus*, which have not previously been reported in the Cheonggyecheon stream, appeared. Therefore, it is deemed necessary to prepare continuous publicity and management measures to prevent exotic species and invasive species from inhabiting the Cheonggyecheon stream.

Keywords: exotic species, invasive species, dominant species of *Zacco platypus*

서 론

과거 산업화와 도시화 이후 기능적 측면을 고려한 하천의 개발이 이루어졌으며, 이로 인해 수생태계에 서식하는

다양한 생물들의 서식공간이 훼손되었다(Choi *et al.* 2008). 하지만 최근 여가생활의 증가와 도심의 생태적 공간에 대한 관심도가 높아짐에 따라 하천의 생태와 환경을 중심으로 생태적 기능을 회복하고자 하는 생태복원의 노력이 진

행되고 있다(Hellawell 1986; Kim and Choi 2019). 특히 여가 활동에 밀접한 연관이 있는 하천생태계에 관심이 높아지면서 도시화로 인해 복개되었던 하천을 대상으로 인공하천을 조성하여 자연형 하천으로 바꾸어가는 노력을 기울이고 있다(Kim and Ahn 2006). 우리나라의 하천복원 시작은 1995년 양재천을 대상으로 자연형 하천 공법을 적용하여 복원하였으며, 이후 다양한 하천복원 사업이 수행되고 있다(Kim *et al.* 2019).

연구대상지인 청계천은 과거 서울의 인구 증가와 악취 발생, 청계천 범람 등에 의한 피해를 예방하고자 하천 대부분에 구간을 복개하였으며, 이후 2003년 7월부터 2005년 10월까지 복개 구간 약 5.8 km 복원하여 서울 시민과 청계천을 찾는 탐방객들의 대표적인 도심형 인공하천으로 자리매김하고 있다(Kim and Han 2005; Choi *et al.* 2008). 서울 시설공단에서는 청계천 복원 이후 어류를 대상으로 지속적인 어류상 모니터링을 실시하고 있다. 청계천에 서식하는 어류를 대상으로 실시된 연구로는 복원된 청계천에 서식하는 어류 군집의 시공간적 변화(Choi *et al.* 2008), 청계천 복원 후 어류상 변화와 참갈겨니의 개체군 특성(Byeon 2013), 청계천의 수량 감소에 따른 어류군집 변화(Byeon 2019), 베타다양성 개념의 적용을 통한 청계천 어류 군집 특성분석(Kim *et al.* 2019) 등이 있다.

어류는 수생태계에 서식하는 최상위 포식자로서 수질 및 물리적 서식지의 변화에 민감하게 반응하는 생물군으로 생물군집 및 서식처를 평가하는 데 널리 활용되고 있다(Jang *et al.* 2007; Lee *et al.* 2014; Shin *et al.* 2016). 특히 높은 이동성을 갖는 어류는 서식처의 변화 및 먹이 환경과 같은 생태조건에 따라 서식분포의 차이를 보인다(Chae *et al.* 2014; Yoon *et al.* 2014). 이 중 피라미(*Zacco platypus*)는 잉어과 소형담수 어류로 서·남해로 유입되는 다양한 하천상·하류에 분포하는 것으로 알려져 있으며, 대부분의 하천에서 우점하는 것으로 보고되고 있다(Nam *et al.* 1999; Kim *et al.* 2005; Baek *et al.* 2006). 피라미는 비교적 내성 범위가 넓고 다양한 하천 서식환경에 적응력이 강한 어류로 알려져 있는데(Ryu and Lee 1992; Baek *et al.* 2006; Shin *et al.* 2016), 청계천에 서식하는 피라미 개체군은 복원 이후부터 현재까지 우점종으로 청계천을 대표하는 어종이다.

본 연구는 청계천을 대상으로 어류상을 조사하여 과거 문헌 비교 및 지속적으로 출현하고 있는 외래종과 이입종 유입 실태에 따른 기초자료를 제공하고자 한다. 또한, 조사

지점별 우점을 차지하며, 청계천에서 지속적으로 증가하고 있는 피라미 개체군의 서식 현황을 제시하고자 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

1. 조사시기

청계천 어류상 조사는 2019년 4월부터 10월(1차: 4월 20일, 2차: 6월 25일, 3차: 10월 11일)까지 총 3회 조사를 수행하였다.

2. 조사지점

조사지점은 2006~2018년 시행된 기존 청계천 어류 모니터링 조사지점을 고려하여 선정하였으며, 총 6개 지점을 대상으로 조사를 실시하였다. 어류상 조사는 조사정점을 기준으로 상·하류 약 100 m 이내의 구간에서 수행하였으며, 각 지점의 세부 GPS (WGS)는 다음과 같다(Fig. 1).

- St. 1: 서울특별시 종로구 서린동
(N 37°34'08.67", E 126°58'44.38")
- St. 2: 서울특별시 종로구 장사동
(N 37°34'06.04", E 126°59'34.48")
- St. 3: 서울특별시 중구 방산동
(N 37°34'10.68", E 126°00'11.34")
- St. 4: 서울특별시 동대문구 신설동
(N 37°34'17.06", E 127°01'28.41")
- St. 5: 서울특별시 성동구 용답동
(N 37°34'19.99", E 127°02'21.98")
- St. 6: 서울특별시 성동구 용답동
(N 37°33'16.62", E 127°03'06.19")

3. 조사방법

1) 물리적·이화학적 서식환경 분석

서식처 내 물리적 특성분석은 2019년 4월에 실시하였으며, 거리측정계(LASER 1200S; Nikon, Japan)를 이용하여 조사지역의 유풍을 측정하고, Digital water velocity meter (FP111; Global Water, Gold River, CA)를 이용하여 수심을 측정하였다. 하상구조물의 계측 및 분류는 Cummins (1962)의 방법을 적용하여 Boulder, Cobble, Pebble, Gravel,

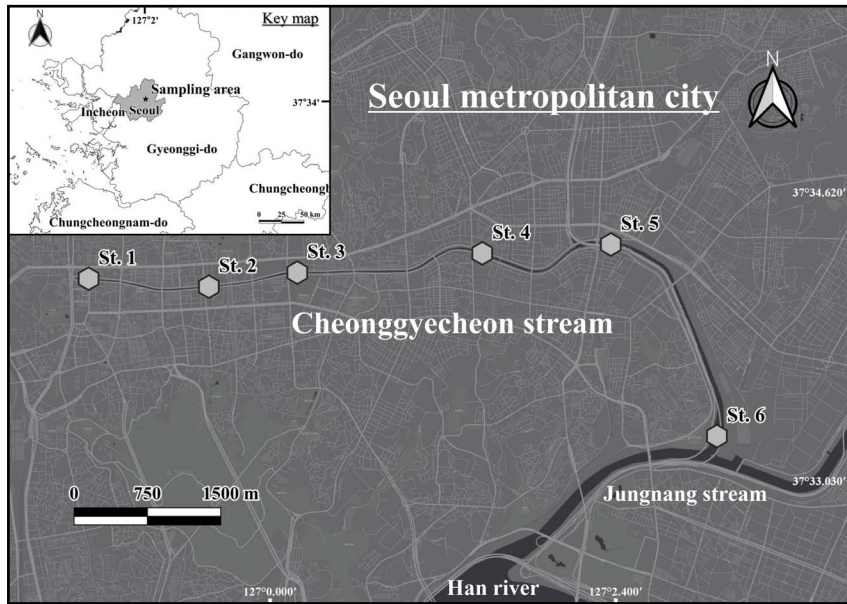


Fig. 1. Map of the sampling sites in the Cheonggyecheon stream, Seoul Metropolitan City, South Korea.

Silt/Sand의 5단계로 구분하여 상대적인 구성 비율을 확인하였다. 이화학적 서식환경 분석은 2019년 4월부터 10월까지 수온, 용존산소, pH, 전기전도도를 각 조사지점에서 휴대용 다항목측정기 (Model 556MPS; YSI, Yellow Springs, OH)를 이용하여 매회 현장에서 측정하였다. 또한, 물환경정보시스템 (<http://water.nier.go.kr/>)의 하천 수질측정망 (2019년 4월, 6월, 10월) 자료를 이용하여 청계천 상·중·하 지점에 대한 수질 비교 분석을 실시하였으며, 생물측정망 지점은 모전교(상류), 마학교(중류), 중랑천합류전(하류)까지 총 3개의 지점에서 실시된 자료를 인용하였다.

2) 채집 및 동정

어류의 채집은 각 지점별 투망(망목 7×7 mm, 12회)과 족대(망목 4×4 mm, 40분)를 이용하여 정량조사를 실시하였다. 채집된 어류는 현장에서 종 동정 및 계측 후 방생하였으며, 종 동정이 어려운 종들은 10% Formalin 용액으로 고정한 후 실험실로 운반하여 종 동정을 실시하였다. 어류의 동정은 국내에 발표된 검색표(Kim 1997; Kim and Park 2002; Kim *et al.* 2005)를 이용하였으며, Nelson (2006)의 분류체계를 따라 정리하였다.

3) 군집분석

군집분석은 조사지점별 정량조사를 통해 채집된 종수

및 개체수를 이용하여 우점종(Dominant species), 아우점종(Subdominant species), 우점도지수(McNaughton 1967), 다양도지수(Shannon-Weaver 1949), 균등도지수(Pielou 1975), 풍부도지수(Margalef 1958)를 산출하였다.

4) 피라미 개체군 분석

청계천의 우점종인 피라미 개체군의 생육상태를 파악하기 위해 전장-체중 상관관계를 이용한 성장도와 비만도지수를 분석하였다. 성장도와 비만도지수는 어류의 생육상태 및 생식능력 정도를 파악할 수 있으며, 수질, 먹이 이용능력, 서식처 등급 등 다양한 정보를 제공하는 지표로 이용되고 있다(Anderson and Gutreuter 1983; Ney 1993). 길이-무게 상관성(Length-weight relationship)은 Anderson and Gutreuter (1983)의 $W = aTL^b$ (W = weight, TL = total length, a, b = parameter) 식을 따랐으며, 비만도 지수(Condition factor, k)는 Anderson and Neumann (1996)의 $K = W/TL^3$ (W = weight, TL = total length) 식을 적용하였다. 또한, 피라미 개체군의 전장빈도분포 분석을 실시하여, 피라미 개체군이 청계천에서 안정적인 생활사를 유지하고 있는지 파악하였다.

5) 분석 프로그램

통계분석은 IBM SPSS (ver. 21)를 이용하여 상관성 분석

(pearson correlation)을 실시하였으며, Biodiversity Pro (ver. 2)를 이용하여 어류상에 따른 조사지점별 유사도(Bray and Curtis 1957) 분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 서식환경 분석

1) 물리적 서식환경

조사지역의 물리적 수환경 분석 결과 유폍은 6.4~79.1 m의 범위로 나타났으며, 수심은 41~162 cm의 범위로 측정되었다(Table 1). 유폍과 수심 모두 상류에서 하류로 갈수록 증가하는 것으로 확인되었으나, St. 6은 최하류임에도 불구하고 St. 4, 5보다 비교적 수심이 깊지 않은 상태를 유지하고 있는 것으로 조사되었다. 이는 하천 하류의 특성상 유폍의 증가 및 모래의 비율이 높아 상대적으로 낮은 수심을 유지하는 것으로 판단된다. 지점별 유속은 0.0~1.1 ms⁻¹의 범위로 확인되었으며, 상대적으로 상류 구간에서 높은 유속을 보이는 것으로 나타났다. St. 1, 2, 3, 4는 청계천 복원 시 조성한 급여울 지역에서 유속이 가장 높았고, 급여울을 제외한 대부분의 구간은 유속이 감소하여 정수역을 형성하는 것으로 확인되었다. 하상구조는 St. 1, 2, 3은 Boulder의 비율이 높고, St. 4, 5, 6은 Silt/Sand의 비율이 높은 것으로 분석되었다. 또한, 청계천 광장이 위치한 최상류 지점인 St. 1의 경우 청계천 복원 시 하상과 제방 재질을 대부분 인조석(Artificial stone)을 이용해 복원하였기 때문에 천연석(Native rock)과 모래, 수생식물 및 수변식생이 부족한 것으로 확인되었다. 따라서, St. 1은 청계천에 서식하는 어류가 산란할 수 있는 산란장의 기능이 부족할 것으로 판단되며,

비교적 다양한 하상구조와 수생식물이 서식하고 있는 중·하류 지역에서 주로 산란이 이루어질 것으로 예측된다.

2) 이화학적 서식환경

조사지점별 이화학적 수환경 분석 결과 청계천의 평균 수온은 18.3±6.0°C (St. 1)~22.1±6.6°C (St. 6), 평균 pH는 7.5±0.2 (St. 1)~8.6±0.2 (St. 6), 평균 용존산소(DO)는 6.5±0.9 (St. 4)~7.3±2.8 (St. 6) mg L⁻¹, 평균 전기전도도(EC)는 210.3±41.3 (St. 1)~276.3±46.2 (St. 6) µS cm⁻¹로 분석되어 대부분 하류로 갈수록 증가하는 경향을 나타내었다(Table 1). 복원 전 청계천은 생활하수와 하천 주변에서 유입되는 다양한 비점오염원들로 인해 악취가 매우 심한 불량한 수질환경을 유지하고 있었으나, 복원 이후 자양취수장에서 정화한 물과 하천 주변 지하수를 이용하여 하천 유지용수를 유지하고 있어(SMG 2017), 현재는 어류가 서식하기에 비교적 양호한 수질환경을 유지하고 있는 것으로 판단된다.

청계천 구간별 수환경을 비교하기 위해 모전교(상류), 마학교(중류), 중랑천합류전(하류)에 위치한 3개 지점의 수질측정망자료를 이용하여 분석한 결과 pH, DO, T-N, T-P, TOC에서 지점 간 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났으며, 상대적으로 BOD, COD, SS, EC, Chl-a는 하류 지점에서 낮은 평균값을 보이는 것으로 확인되었다(Table 2). 청계천은 상류 지점과 중류 지점 간 수질 변화가 크지 않아 중·상류 지역에 서식하는 어류는 수질 변화보다 물리적인 요인과 먹이원 등에 의해 어류 군집 변화에 영향을 받을 것으로 판단되나, 향후 물리적 요인, 화학적 요인, 먹이원 중 어떠한 요인에 의해 어류 군집이 변화되는지에 대한 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

Table 1. Values of physical and chemical factors at each site in the Cheonggyecheon stream

Sampling site	Stream width (m)	Water depth (cm)	Velocity of flow (ms ⁻¹)	Bottom structure (B:C:P:G:S)	WT (°C)	pH	DO (mg L ⁻¹)	EC (µS cm ⁻¹)
St. 1	6.5-12.1	11-48	0.1-1.0	B:C:P:G:S=8:0:1:1:0	18.3±6.0	7.5±0.2	6.8±1.3	210.3±41.3
St. 2	3.3-6.4	16-41	0.1-0.9	B:C:P:G:S=5:3:1:1:0	18.9±6.4	7.9±0.1	6.7±1.5	226.0±52.6
St. 3	5.1-7.1	23-73	0.0-1.0	B:C:P:G:S=5:3:1:1:0	19.1±6.7	8.1±0.1	6.7±1.5	211.3±42.4
St. 4	4.4-21.3	12-126	0.0-1.1	B:C:P:G:S=1:1:2:2:4	18.7±6.1	8.1±0.2	6.5±0.9	235.7±16.4
St. 5	20.8-31.7	25-162	0.0-0.4	B:C:P:G:S=2:1:1:2:4	19.8±7.5	8.3±0.2	6.5±2.3	249.3±68.3
St. 6	14.7-79.1	13-91	0.0-0.6	B:C:P:G:S=1:1:1:2:5	22.1±6.6	8.6±0.2	7.3±2.8	276.3±46.2

WT: Water temperature, pH: Potential of hydrogen ions, DO: Dissolved oxygen, EC: Electric conductivity, ±SD: Standard deviation, *B: Boulder >256 mm, C: Cobble 64-256 mm, P: Pebble 16-64 mm, G: Gravel 2-16 mm, S: Silt/Sand 0.2- <2 mm

Table 2. Chemical factors at each site in the water quality monitoring network in the Cheonggyecheon stream

Sampling site	pH	DO (mg L ⁻¹)	BOD (mg L ⁻¹)	COD (mg L ⁻¹)	SS (mg L ⁻¹)	T-N (mg L ⁻¹)	T-P (mg L ⁻¹)	TOC (mg L ⁻¹)	EC (μS cm ⁻¹)	Chl-a (mg m ⁻³)
Up	7.6±0.2	10.4±2.0	0.5±0.3	1.7±0.2	1.6±0.5	2.13±0.60	0.01±0.01	1.6±0.1	219.0±23.1	0.9±1.2
Middle	7.8±0.4	10.9±2.2	0.6±0.2	2.1±0.1	1.6±0.7	2.27±0.72	0.02±0.00	1.6±0.1	263.7±31.9	3.2±2.6
Down	7.8±0.1	10.0±2.0	1.2±0.5	2.8±0.1	3.3±0.9	2.62±0.78	0.04±0.01	1.8±0.3	315.3±23.9	6.4±6.2

pH: Potential of hydrogen ions, DO: Dissolved oxygen, BOD: Biochemical oxygen demand, COD: Chemical oxygen demand, SS: Suspended solid, T-N: Total nitrogen, T-P: Total phosphorus, TOC: Total organic carbon, EC: Electric conductivity, Chl-a: Chlorophyll a, ±SD: Standard deviation

2. 어류상

1) 종 조성

청계천의 어류상 조사 결과 총 9과 27종 2,045개체가 출현하였다(Table 3). 과별 종수 구성비 분석 결과 잉어과 19종(70.4%), 망둑어과 2종(7.4%), 메기과, 송사리과, 바다빙어과, 검정우렁과, 동사리과, 가물치과에서 각각 1종(3.7%)씩 출현하여 잉어과에서 가장 다양한 종이 출현하였다. 과별 개체수 구성비 분석 결과 잉어과에서 1,970개체(96.34%)로 매우 높은 개체수 비율을 차지하고 있었으며, 다음으로 망둑어과 53개체(2.59%), 검정우렁과 7개체(0.35%), 메기과 5개체(0.25%), 가물치과 4개체(0.20%), 동사리과 3개체(0.14%), 바다빙어과 2개체(0.09%), 송사리과 1개체(0.04%) 등의 순으로 조사되었다. 한국고유종은 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*), 증고기(*Sarcocheilichthys nigripinnis morii*), 긴물개(*Squalidus gracilis majimae*), 참갈겨니(*Zacco koreanus*), 얼룩동사리(*Odontobutis interrupta*) 등 5종(18.5%)이 출현하였다. 쉬리의 경우 청계천에서 서식이 보고된 바가 없었으나, 본 조사시에는 서식이 확인되었다. 쉬리는 일반적으로 물이 맑고 바닥에 자갈이 많이 깔린 하천 중·상류 여울에 주로 서식하는 종(Kim et al. 2005)으로 청계천 주변 도심하천은 쉬리가 서식하기에 적합하지 않은 서식환경을 유지하고 있어 주변 인근 하천에서 유입되었을 가능성은 매우 낮으며, 청계천을 찾는 시민들에 의해 인위적으로 방생된 이입종으로 추정된다. 상대풍부도 분석 결과, 피라미(*Zacco platypus*)가 1,274개체(62.4%)로 우점하였으며, 참갈겨니가 199개체(9.8%)로 아우점하는 것으로 확인되었다. 평균 우점도지수는 0.74±0.10 (St. 5)~0.85±0.03 (St. 1), 평균 다양도지수 1.01±0.13 (St. 1)~1.29±0.41 (St. 5), 평균 균등도지수 0.43±0.09 (St. 1)~0.69±0.16 (St. 5), 평균 풍부도지수 1.42±0.10 (St. 6)~1.94±0.70 (St. 1)의 범위로 분석되었다(Table 4). 조사지점

중 St. 1은 19종으로 가장 다양한 종이 출현하였으나 균집 지수는 상대적으로 다른 조사지점들에 비해 불량한 것으로 나타났는데, 이는 하상구조 및 서식환경의 단순화에 따른 피라미 개체군이 차지하는 우점율이 매우 높게 나타난 결과로 판단된다.

2) Bray-Curtis Cluster 분석

청계천에서 출현한 종과 개체수를 이용하여 지점별 유사도 분석을 실시한 결과 63.4%의 유사성을 기준으로 A, B, C 3개의 Group으로 구분되었다(Fig. 2). 청계천 상류 지역에 해당하는 St. 1, 2, 3은 Group-A로 구분되었으며, 이 중 St. 2, 3이 87.3%의 유사성으로 분석되어 가장 종 조성이 유사한 것으로 분석되었다. St. 1의 경우 서식처 대부분이 인공구조물로 구성되어 있어 상대적으로 낮은 유사성을 갖는 것으로 나타났다. 하류 구간인 St. 4, 5, 6 지점은 Group B, C로 구분되었으며, 최하류 지점인 St. 6과 St. 4는 73.6%로 높은 유사성을 보였고, St. 5가 가장 낮은 유사성을 갖는 것으로 나타났다. 이는 St. 5의 서식환경이 다른 지점들에 비해 수심이 깊고 유속이 느린 정수역을 형성하고 있었으며, 상대적으로 유수역을 선호하는 종의 개체수는 적고, 정수역을 선호하는 종의 개체수가 풍부하게 출현한 결과로 판단된다.

3) 문헌 비교 및 외래종 현황

청계천 복원 이후 2006년부터 2019년까지 출현한 어류는 총 10과 49종이었으며, 연도별 19종(2007년)~27종(2009, 2019년)으로 평균 23.9(±2.33)종이 출현하고 있는 것으로 조사되었다(Table 3). 복원 이후부터 청계천에서 지속적으로 출현한 어류는 잉어(*Cyprinus carpio*), 붕어(*Carassius auratus*), 참붕어(*Pseudorasbora parva*), 돌고기(*Pungtungia herzi*), 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*), 피라

Table 3. Continued

Scientific name	Korean name	SFC 2006-2010						Kim et al. 2019			SFC 2016-2019						Total	R·A%	
		'06	'07	'08	'09	'10	'14	'15	'16	'18	'19	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5			St. 6
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	꼬리					○									1		1	0.05	
<i>Erythroculter erythropterus</i>	강준치					○													
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	치리								○										
◆ <i>Danio rerio</i>	제브라다니오		○	○															
◆ <i>Gyrinocheilus aymonier</i> var. (gold type)	골든알지이티															1		0.05	
Family Cobitidae	미꾸라지과																		
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	미꾸라지	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
<i>Misgurnus mizolepis</i>	미꾸라지	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
♣ <i>Iksookimia koreensis</i>	침중개	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Family Siluridae	메기과																		
<i>Silurus asotus</i>	메기	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Family Adrianichthyidae	송사리과																		
<i>Oryzias sinensis</i>	대륙송사리	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Family Osmeridae	바다빙어과																		
<i>Plecoglossus altivelis</i>	은어														1		1	0.10	
Family Centrachidae	검정우럭과																		
◆ <i>Lepomis macrochirus</i>	블루길	○																	
◆ <i>Micropterus salmoides</i>	배스	○													1	2	3	1	0.34
Family cichlidae	시클리드과																		
<i>Cichlasoma nigrofasciatum</i>	블랙니그로																		
Family Odontobutidae	동사리과																		
♣ <i>Odontobutis interrupta</i>	얼룩동사리															2		1	0.15
Family Gobiidae	망둑어과																		
<i>Rhinogobius brunneus</i>	밀어	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
<i>Rhinogobius giurinus</i>	갈문망둑	○																	
<i>Tridentiger brevispinis</i>	민물검정망둑	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Family Channidae	가물치과																		
<i>Channa argus</i>	가물치	○														3		1	0.20
Number of Species		23	19	25	27	25	23	24	23	23	19	14	16	13	11	12	27		
Number of individuals		-	-	-	-	-	-	-	-	-	603	418	427	263	127	207	2,045	100.00	

♣ : Korean endemic species, ◆ : Exotic species, ♣ : Ecosystem disturbing species, R·A: Relative abundance

Table 4. Dominant species, subdominant species, and fish community indices at each site in the Cheonggyecheon stream

Sampling site	Dominant species	Subdominant species	DI	H'	E	RI
St. 1	<i>Zacco platypus</i>	<i>Pungtungia herzi</i>	0.85 ± 0.03	1.01 ± 0.13	0.43 ± 0.09	1.94 ± 0.70
St. 2	<i>Zacco platypus</i>	<i>Zacco Koreanus</i>	0.81 ± 0.06	1.25 ± 0.22	0.55 ± 0.13	1.83 ± 0.31
St. 3	<i>Zacco platypus</i>	<i>Zacco Koreanus</i>	0.79 ± 0.08	1.21 ± 0.10	0.58 ± 0.09	1.54 ± 0.36
St. 4	<i>Zacco platypus</i>	<i>Pungtungia herzi</i>	0.78 ± 0.14	1.27 ± 0.38	0.62 ± 0.14	1.50 ± 0.24
St. 5	<i>Zacco platypus</i>	<i>Pungtungia herzi</i>	0.74 ± 0.10	1.29 ± 0.41	0.69 ± 0.16	1.56 ± 0.49
St. 6	<i>Zacco platypus</i>	<i>Carassius auratus</i>	0.82 ± 0.04	1.26 ± 0.10	0.67 ± 0.07	1.42 ± 0.10

DI: Dominance index, H': Diversity Index, E: Evenness Index, RI: Richness Index

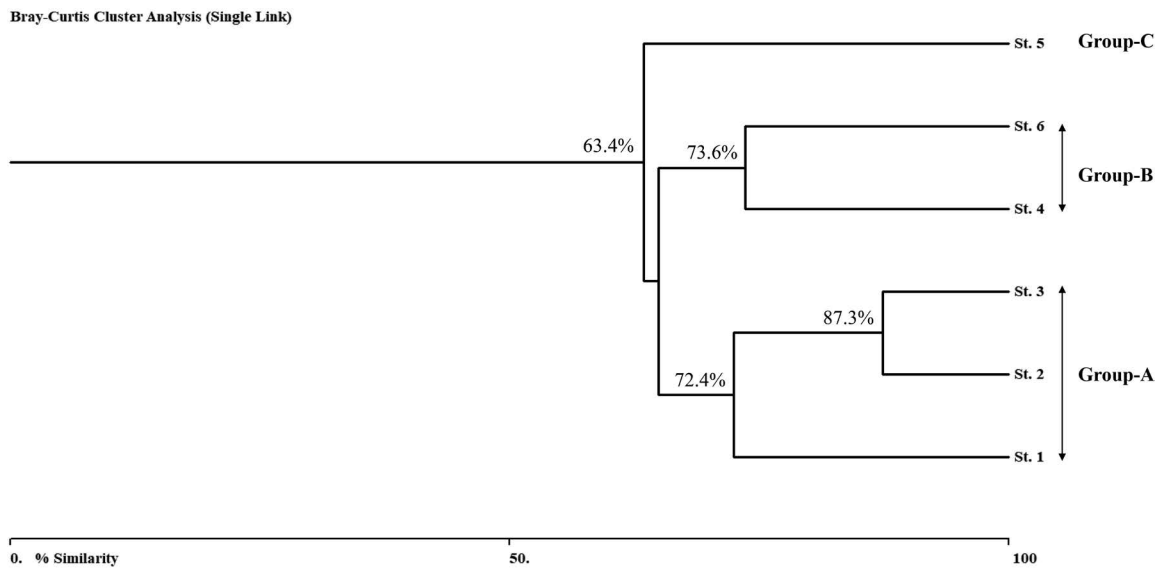


Fig. 2. Bray-Curtis similarity diagram at the sampling sites in the Cheonggyecheon stream.

미 (*Z. platypus*), 밀어 (*Rhinogobius brunneus*) 총 7종으로 확인되었다. 잉어, 붕어, 참붕어는 내성종 (tolerant species)이며, 돌고기, 피라미, 밀어는 중간종 (intermediate species)에 해당하는 어류로 내성종과 중간종의 어류는 민감종에 비해 상대적으로 다양한 서식처 변화 및 교란에 저항성이 높아 청계천 내에서 지속적인 서식이 가능하며, 민감종 (sensitive species)에 해당하는 버들치는 민감종임에도 불구하고 상대적으로 내성 범위가 넓어 청계천에서 지속적인 서식이 가능한 것으로 판단된다. 또한, 복원 이후 일시적으로 일부 조사시기에는 출현하였으나, 서식처에 적응하지 못해 현재는 청계천 내 서식하지 않는 것으로 파악된 종으로는 떡붕어 (*Carassius cuvieri*), 잉붕어 (*Cyprinus carpio* × *Carassius auratus*), 각시붕어 (*Rhodeus uyekii*), 큰납지리 (*Acanthorhodeus macropterus*), 버들개

(*Rhynchocypris steindachneri*), 갈겨니 (*Zacco temminckii*), 강준치 (*Erythroculter erythropterus*), 치리 (*Hemiculter eigenmanni*), 제브라다니오 (*Danio rerio*), 참종개 (*Iksookimia koreensis*), 블루길 (*Lepomis macrochirus*), 블랙니그로 (*Cichlasoma nigrofasciatum*) 총 12종으로 파악되었다.

청계천 내 외래종은 복원 이후부터 현재까지 지속적인 유입이 발생하고 있으며, 2006년과 2019년에 각각 4종으로 가장 많은 외래종이 출현하였고, 2014년에만 외래종의 서식이 확인되지 않았다. 관상어류인 비단잉어와 금붕어는 대부분의 조사시기에 관찰되고 있어 청계천 내 안정적인 정착 및 지속적인 이입이 발생하고 있는 것으로 판단된다. 생태계교란종인 블루길 (*L. macrochirus*)은 2006년 출현 이후 확인되지 않아 청계천의 서식환경에 적응하지 못하고 도태되었거나 청계천 유입하천인 중랑천으로 이동하였

을 것으로 추정된다. 배스(*Micropterus salmoides*)는 2006년과 2010년 출현 이후 서식이 확인되지 않았으나, 본 조사시 St. 1~4까지 중·상류 대부분의 지역에서 서식하고 있는 것으로 조사되어 배스 퇴치 및 관리를 위한 방안의 마련이 필요한 것으로 판단된다. 한편, 기존 청계천 내 서식이 보고되지 않은 새로운 외래종으로는 관상어류인 골든알지이터(*Gyrinocheilus aymonier* var. (gold type))가 청계천 최상류 지점인 St. 1에서 확인되었다. 이는 청계천을 찾는 시민들에 의한 방생으로 유입되었을 것으로 추정되며, 현재까지도 지속적인 외래어종 이입이 발생하고 있는 것으로 확인되었다.

3. 피라미 개체군 분석

1) 길이-무게 분석

청계천 내 우점종인 피라미 개체군의 생육상태 및 생식능력 정도를 파악하기 위해 청계천에서 채집된 1,274개체 중 지느러미가 손상된 개체를 제외한 1,096개체를 대상으로 길이-무게 관계 및 비만도지수(*k*) 분석을 실시하였다. 일반적으로 개체군의 성장도를 나타내는 회귀계수 *b*값은 3.0을 기준으로 3.0보다 높으면 생육상태가 양호한 것을 의미하며(Han *et al.* 2007), 비만도 지수(*k*)는 양의 기울기일 때 개체군의 생식능력이 양호한 것으로 알려져 있다(Carl and Peter 1990). 분석 결과 청계천에 서식하는 피라미 개체군의 회귀계수 *b*값은 3.3435, 비만도 지수 기울기는 0.0026으로 나타나 양호한 생육상태를 유지하고 있는 것으로 확인되었다(Fig. 3). 한편, 청계천 인근 도심하천인 탄천에 서식하는 피라미 개체군의 회귀계수 *b*값은 3.29, 비만도 지수 기울기는 0.0027이었으며(Choi *et al.* 2011), 탄천으로 유입

되는 자연형 복원하천인 양재천에 서식하는 피라미 개체군은 회귀계수 *b*값 3.19, 비만도 지수 기울기 0.021로 보고되어 있다(Lee and Choi 2015). 따라서 청계천에 서식하는 피라미 개체군은 주변 도심하천에 서식하는 피라미 개체군보다 상대적으로 양호한 생육상태를 유지하고 있었다. 청계천은 수량 감소 이후 총식성 개체는 급격히 감소하고, 잡식성 개체가 증가한 것으로 보고되어 있으며(Byeon 2019), 이러한 잡식종의 개체수 증가는 하천 내 유기물 및 수질오염 증가로 인해 발생하는 것으로 알려져 있다(US EPA 1993). 따라서 잡식성인 피라미 개체군의 먹이원인 유기물과 부착조류 등이 청계천 내 풍부하게 분포하고 있으며, 이로 인해 양호한 생육상태를 유지하고 있는 것으로 판단된다.

2) 전장비도 분포 특성

피라미 개체군의 전장 분포 분석 결과는 다음과 같다(Fig. 4). 일반적으로 피라미는 만 1년생 6~70 mm, 만 2년생 80~110 mm, 만 3년생 이상의 개체는 >120 mm의 범위로 알려져 있으며(Kim 1997), 청계천의 피라미 역시 유사한 전장비도 분포를 보이는 것으로 나타났다. 하지만 대부분 하천에 서식하는 피라미 개체군은 당년생~만 1년생 이하에서 가장 풍부한 개체수를 나타내고 있으나(Lee *et al.* 2012; Lee and Choi 2015), 청계천에 서식하는 피라미 개체군은 만 1년생~만 2년생에서 가장 개체수가 풍부한 것으로 분석되어 기존 연구와는 서로 상반된 결과를 보였다. Lee *et al.* (2012)의 연구에서는 호소에 서식하는 피라미 개체군의 경우 호소로 유입되는 상류 하천에서 당년생의 개체수가 풍부하고, 호소 내에서는 1년생 이상의 개체수가 많은 것으로 확인되었는데, 이는 피라미 개체군의 산란특

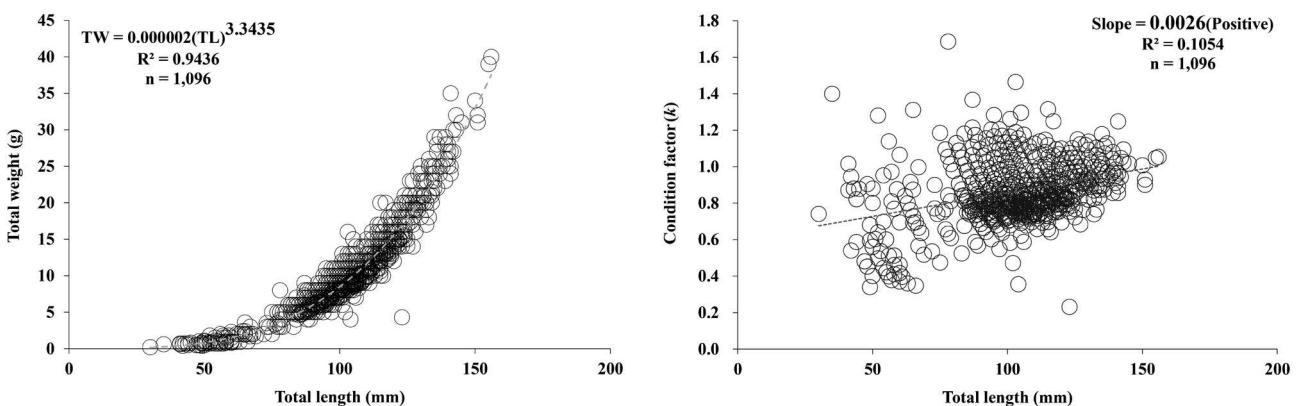


Fig. 3. Relationship between the total length and total weight (left), and between the total length and condition factor (*k*) (right) in the *Zacco platypus* population sampled in the Cheonggyecheon stream.

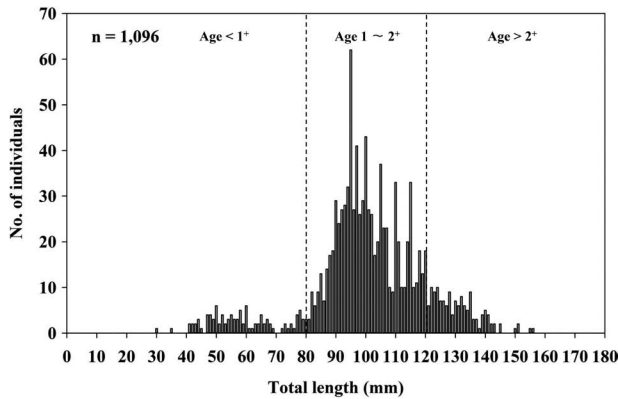


Fig. 4. Total length distribution of the *Zacco platypus* population.

성으로 인해 수심이 깊은 호소보다 상류 하천에서 산란이 이루어져 당년생 개체가 풍부하게 출현한 것으로 보고되어 있다. 일반적으로 피라미 개체군은 수심이 얇고 유속이 느리며, 하천 바닥이 주로 모래로 이루어진 하상에 산란하는 것으로 알려져 있는데(Kim 1997; Baek et al. 2006), 이처럼 수심이 얇고 모래 하상으로 이루어진 서식처가 청계천 내에서는 한정적으로 분포하고 있으며, 특히 피라미 개체군이 가장 많이 출현한 상류 지역에는 이러한 물리적 서식 조건을 갖는 지역이 부족하여 당년생 개체수가 상대적으로 적게 출현한 것으로 생각된다. 따라서, 향후 지속적인 모니터링을 통해 청계천의 우점종인 피라미 개체군 크기 변화에 대한 관찰 및 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3) 피라미와 참갈겨니 개체수 비교 분석

2006년부터 2019년까지 동일한 지점에서 출현한 피라미 개체군과 참갈겨니 개체군을 대상으로 개체수 비교 분석을 실시한 결과 피라미는 양의 경향성을 나타내고, 참갈겨니는 음의 경향성을 나타내어 서로 다른 경향을 갖는 것으로 분석되었다(Fig. 5). 피라미 개체군의 경우 2006년부터 현재까지 지속적으로 출현하였으나, 참갈겨니 개체군은 2008년부터 소수의 개체가 출현하기 시작하였다. 피라미와 참갈겨니 개체군 모두 2010년까지 개체수가 증가하였으나, 이후 참갈겨니 개체군은 개체수가 급감하여 본 조사시기까지 적은 개체수를 유지하고 있는 것으로 나타났으며, 피라미 개체군은 2014년 최대 개체수를 기록한 후 다시 감소하여 현재는 적정 수준의 개체군을 유지하고 있는 것으로 확인되었다. 일반적으로 피라미와 참갈겨니는 생태적 지위(ecological niche)가 유사하여 서로 경쟁관계(서식

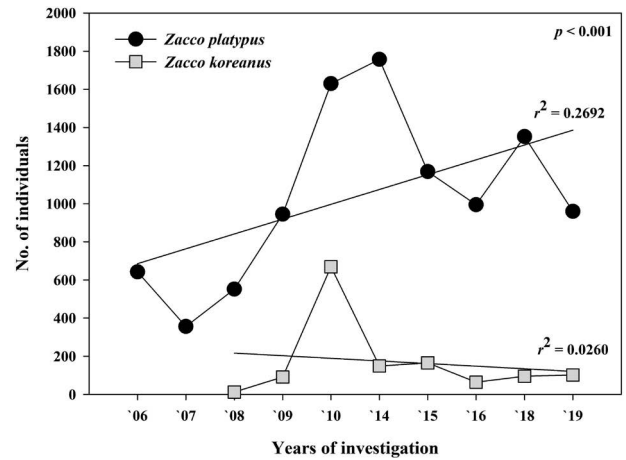


Fig. 5. Number of *Zacco platypus* and *Z. koreanus* individuals per year of investigation.

처, 먹이, 산란 등)에 있는 종으로 두 종이 공존하는 지역에서는 참갈겨니는 유속이 빠른 유수역, 피라미는 유속이 비교적 느린 정수역으로 서식지가 나뉘는 것으로 알려져 있다(Hong 1991). 지점별 조사 시 유속이 느린 정수역에서는 주로 피라미가 채집되었고, 상대적으로 유속이 빠른 유수역에서는 참갈겨니가 포획되어 기존 연구결과와 일치하는 것으로 확인되었다. 청계천에서 실시한 수량 감소에 따른 어류상을 비교한 결과 청계천 내 수량의 감소로 인해 참갈겨니가 선호하는 여울부가 부족해짐에 따라 개체수가 감소한 것으로 보고되어 있다(Byeon 2019). 따라서 2008년 청계천에 새로 이입된 참갈겨니 개체군은 경쟁 종인 피라미 개체군과의 서식처 경쟁에서 우위를 점하지 못했으며, 점차 감소하고 있는 여울부로 인해 적은 개체수를 유지하고 있는 것으로 판단된다. 한편, 피라미 개체군은 참갈겨니 개체군과의 서식처 경쟁에서 우위를 점하였으나, 청계천의 짧은 유로 연장과 좁은 유폍 등 한정적인 물리적 서식조건으로 인해 개체수가 지속적으로 증가하지 못하고 일정 개체군 크기를 유지하고 있는 것으로 판단된다.

2014년부터 2019년까지 피라미 개체군과 참갈겨니 개체군을 대상으로 각 지점별 출현한 개체수를 분석한 결과(Fig. 6), 상류에서 하류로 갈수록 두 종 모두 감소하는 경향성을 보였으며, 통계적으로 높은 상관성을 갖는 것으로 분석되었다($p < 0.01$). 일반적으로 피라미 개체군은 상류에서 하류로 갈수록 개체수가 증가하며, 참갈겨니는 하류에서 상류로 갈수록 증가하는 것으로 알려져 있는데(Hong 1991; Choi et al. 2017; Lee et al. 2017), 청계천에 서식하는

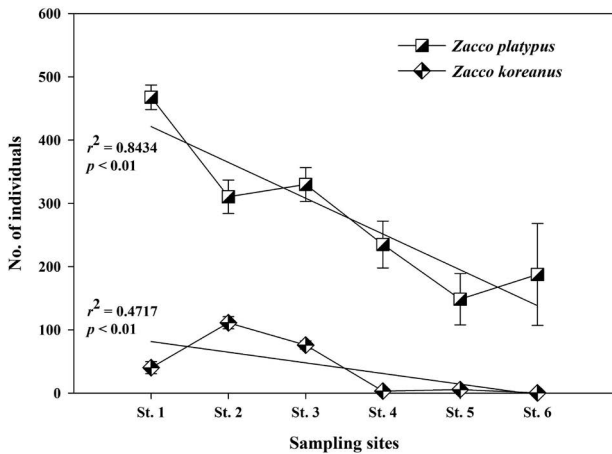


Fig. 6. Number of *Zacco platypus* and *Z. koreanus* individuals per site of investigation. The vertical bar represents the standard error.

참갈겨니 개체군은 상류로 갈수록 증가하는 경향성으로 기존 연구와 일치하는 것으로 확인되었으나, 피라미 개체군은 기존 연구와는 상반된 결과를 보였다. 청계천 상류 지역은 수량 감소로 인해 급여울을 제외한 대부분이 정수역과 소(pool)로 이루어져 있었으며, 특히 St. 1은 인공폭포 아래 큰 소(pool)가 조성되어 있었다. 피라미 개체군은 생식 및 산란 시 얇은 수심과 자갈, 모래로 구성된 하상을 선호하는 생태특성을 갖는 것으로 알려져 있는데(Baek et al. 2006), 청계천 상류 구간은 하류 지역에 비해 상대적으로 수심이 얇고 자갈과 모래로 구성되어 있는 하상이 비교적 넓게 분포하고 있어 상류 지역에서 피라미 개체군의 개체수가 증가한 것으로 판단된다. 하지만 보다 명확한 요인 분석을 위해 물리적 요인을 제외한 수환경 요인과 먹이원 분석 등 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 청계천 종다양성 유지를 위한 관리방안

청계천은 어류 종다양성 증진을 위해 많은 노력과 다양한 시도가 이루어져 왔다. 종다양성 증진을 위해 어류 피난처와 목재방틀, 거석수제, 인공 산란장 설치 등 다양한 미소 서식처가 조성되어 있고, 상류부터 하류까지 다양한 하상 재질을 이용하여 유수역과 정수역의 수환경이 고르게 조성되어 있다. 하지만 하천 내 수량 및 유속 감소에 따라 일부 정체 구간에서는 유기물퇴적이 발생하고 있어 수질오염 및 어류의 서식에 부정적 영향을 미칠 수 있는 유기퇴적물 제거 작업을 주기적으로 수행하여 청계천 내 서식하는 어류에 미치는 영향을 최소화해야 할 것으로 판단된다. 한

편, 종다양성을 위한 무분별한 서식환경의 개선보다는 현상태의 유지 보수에 초점을 맞추어 시설물을 관리하는 방안이 필요할 것으로 생각된다. 또한, 과거부터 출현하고 있는 생태계교란종과 외래종에 의해 어류 군집의 변화를 초래할 수 있어 토착종 보호 및 종다양성 증진을 위해 생태계교란종을 포함한 다양한 외래어종의 정밀 모니터링을 실시하고, 우선 관리 대상 어종을 선정하여 제거작업을 실시하는 등 종다양성 유지를 위한 지속적인 노력이 필요할 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 청계천에 서식하는 어류 서식 현황을 제시하고 피라미 개체군 분석을 통해 청계천의 외래종, 이입종 및 우점종 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였다. 어류상 조사는 2019년 4월부터 10월까지 총 3회 실시하였으며, 조사 결과 총 9과 27종 2,045개체가 채집되었다. 한국고유종으로는 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*), 중국고기(*Sarcocheilichthys nigripinnis morii*), 긴물개(*Squalidus gracilis majimae*), 참갈겨니(*Zacco koreanus*), 얼룩동사리(*Odontobutis interrupta*) 등 5종(18.5%)이 출현하였다. 청계천의 우점종은 *Zacco platypus* (62.4%), 아우점종은 *Z. koreanus* (9.8%)로 확인되었으며, 우점종인 피라미 개체군의 길이-무게 분석 결과 회귀계수 b 값은 3.3434, 비만도지수(k)는 0.0026의 양의 기울기로 분석되었다. 따라서 피라미 개체군은 양호한 생육상태를 유지하고 있으며, 청계천은 피라미 개체군이 성장하기에 적합한 서식조건인 것으로 판단된다. 청계천은 복원 이후 지속적인 외래종과 이입종의 유입으로 인해 문제가 발생하고 있으며, 본 조사시에도 기존 청계천 내 서식이 보고되지 않은 외래종 골든알지이터(*Gyrinocheilus aymonier* var. (gold type))와 이입종 쉬리(*C. splendidus*)의 서식이 확인되었다. 따라서 청계천 내 발생하고 있는 외래종 및 이입종 유입 방지를 위한 지속적인 홍보와 관리방안 마련이 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 서울시설공단 청계천관리처(과제번호: 201900310001, 청계천 어류 생태 모니터링 학술연구용역)의 지원을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

- Anderson RO and RM Neumann. 1996. Length, weight, and associated structural indices. pp. 447–482. In: Fisheries Techniques (Murphy BR and DW Willis, eds.). American Fisheries Society, Bethesda, MD.
- Anderson R and S Gutreuter. 1983. Length, weight and associated structural indices. pp. 283–300. In: Fisheries Techniques (Nielsen L and D Johnson, eds.). American Fisheries Society, Bethesda, MD.
- Baek HM, HB Song and DH Cho. 2006. Reproductive ecology of the pale chub, *Zacco platypus* in a tributary to the Han river. Korean J. Ichthyol. 18:193–201.
- Bray JR and JT Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. Ecol. Monogr. 27:325–349.
- Byeon HK. 2013. The fish fauna changes and characteristics populations of *Zacco Koreanus* in Cheonggye stream after the rehabilitation, Korea. Korean J. Environ. Ecol. 27:695–703.
- Byeon HK. 2019. Variation of fish community by reduced the amount of water in Cheonggye stream, Korea. Korean J. Ichthyol. 31:165–171.
- Carl BS and MM Peter. 1990. Methods for Fish Biology. American Fisheries Society, Bethesda, MD. p. 684.
- Chae BS, YH Kang, SK Kim, DU Yoo, JM Park, HU Han and UW Hwang. 2014. Ichthyofauna and fish community structure in the Yeong river, Nakdong river system Korea. Korean J. Ichthyol. 26:50–69.
- Choi JK, CR Jang and HK Byeon. 2011. The characteristic of fish fauna by habitat type and population of *Zacco platypus* in the Tan stream. Korean J. Environ. Ecol. 25:71–80.
- Choi JK, HK Byeon, YS Kwon and YS Park. 2008. Spatial and temporal changes of fish community in the Cheonggye stream after the rehabilitation project. Korean J. Limnol. 41:374–381.
- Choi SY, JH Han, JW Choi and KG An. 2017. Trophic gradients of two minnow species with similar eco-type and their relations to water chemistry and multimetric biological integrity. J. Asia-Pac. Biodivers. 10:371–378.
- Cummins KW. 1962. An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic water. Am. Mid. Nat. 67:477–504.
- Han SC, HY Lee, EW Seo, JH Shim and JE Lee. 2007. Fish fauna and weight-length relationships for 9 fish species in Andong reservoir. J. Life Sci. 17:937–943.
- Hellawell JM. 1986. Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management. Elsevier Applied Science Publishers, New York. p. 546.
- Hong YP. 1991. A study on distribution and population dynamics of pale chub (*Zacco platypus*) and dark chub (*Zacco temminckii*) in Han river watershed. PhD thesis. Chungnam National University, Daejeon, Korea. p. 198.
- Kim BH and MS Han. 2005. Water quality and management ecosystem by valuable of ecological function Cheonggyecheon restoration and periphyton. Inst. Environ. Sci. Wonkwang Univ. 13:37–42.
- Kim DH, WO Lee, YK Hong, HJ Jeon, KH Kim, HJ Kang and MY Song. 2019. Application of beta diversity to analysis the fish community structure in stream. Korean J. Ecol. Environ. 52:274–283.
- Kim HB and KS Ahn. 2006. An assessment on vegetation and fish diversity in natural Urban Stream. J. Korean Wetl. Soc. 8:53–64.
- Kim IS. 1997. Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea. Vol. 37 Freshwater Fishes. Ministry of Education, Sejong, Korea. p. 629.
- Kim IS and JY Park. 2002. Freshwater Fishes of Korea. Kyohak, Seoul. p. 465.
- Kim IS, Y Choi, CL Lee, YJ Lee, BJ Kim and JH Kim. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. Kyohak, Seoul. p. 515.
- Kim SK and SU Choi. 2019. Evaluation of impact of abandoned channel restoration on *Zacco platypus* habitat using the physical habitat simulation: A case study of the Cheongmi-cheon stream in Korea. Ecol. Resil. Infrastruct. 6:101–108.
- Lee HG and JK Choi. 2015. The characteristic of fish community following the restoration of Yangjae stream. Korean J. Environ. Ecol. 29:873–883.
- Lee HG, HS Shin, SW Kim and JK Choi. 2012. Spatial analysis of ecological characteristics of *Zacco platypus* population in lake Hoengseong region. Korean J. Environ. Ecol. 26:374–381.
- Lee KY, HR Jang, YJ Yun, SC Park, JC Kim, JY Lee and JS Choi. 2014. Ecological diagnosis of the Gongjicheon water system using length-weight relationship and condition factor (*K*) of population of the *Zacco platypus*. J. Environ. Impact Assess. 23:137–149.
- Lee SH, HG Jeong, HS Shin, Y Shin, SW Lee and JK Lee. 2017. Comparison on ecological index characteristics between *Zacco platypus* and *Zacco koreanus* by stream order in Korea. Korean J. Ecol. Environ. 50:403–410.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. General Systematics 3:36–71.
- McNaughton SJ. 1967. Relationship among functional properties of California Grassland. Nature 216:168–169.
- Nam MM, MJ Choi, SW Kim, KJ Seok and JY Lee. 1999. Seedling production and rearing of pale chub, *Zacco platypus* (Temminck et Schlegel). Korean J. Aquacult. 12:25–30.
- Nelson JS. 2006. Fishes of the World (4th ed.). John Wiley and

- Sons, New York. p. 601.
- Ney JJ. 1993. Practical use of biological statistics. pp. 137–158. In: Inland Fisheries Management of North America (Kohler CC and WA Hubert, eds.). American Fisheries Society, Bethesda, MD.
- Pielou EC. 1975. Ecological Diversity. John Wiley and Sons, New York. p. 165.
- Ryu SS and HJ Lee. 1992. A study on the larvae of *Ligula intestinalis* parasitic on freshwater fish. pp. 1–14. In: Proceeding of 38th Korea National Science Exhibition. The Korean Society of Limnology, Seoul, Korea.
- SFC. 2006–2010. Research of Ecosystem Monitoring in the Cheonggye Stream. Seoul Facilities Corporation. Academic Press, Seoul.
- SFC. 2016. Fish Ecology Survey and Monitoring for Eco-friendly Management of Fish in the Cheonggye Stream. Seoul Facilities Corporation, Academic Press. Seoul.
- Shannon CE and W Weaver. 1949. The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana, IL. p. 233.
- Shin JK, BG Kang and SJ Hwang. 2016. Infestation characteristics of parasite (*Ligula intestinalis*) in abdominal cavity of *Zacco platypus* in the small stream of Korea. Korean J. Limnol. 49:215–227.
- SMG. 2017. Ecosystem Survey Study. 8th ed. Seoul Metropolitan Government. Seoul. pp. 533–572.
- US EPA. 1993. Fish Field and Laboratory Methods for Evaluation the Biological Integrity of Surface Waters. EPA 600-R-92-111. Environmental Monitoring Systems Laboratory-Cincinnati Office of Research Development, US EPA. Cincinnati, OH.
- Water Environment Information System. 2019. <http://water.nier.go.kr>. Ministry of Environment, Sejong, Korea.
- Yoon SJ, JK Choi and HG Lee. 2014. Long-term variation of the fish community in the upper region of the Gapyeong stream, Korea. Korean J. Environ. Ecol. 28:432–441.