

봉선사천의 참갈겨니(*Zacco koreanus*) 재도입 개체군과 원개체군 (조종천, 수동천) 간 생태학적 특징^{1a}

왕주현² · 최준길² · 이혁제² · 이황구^{2*}

Ecological Characteristic between the Re-introduction Population and the Original Population (Jojong Stream, Sudong Stream) of *Zacco koreanus* in the Bongseonsa Stream, Korea^{1a}

Ju-Hyoun Wang², Jun-Kil Choi², Hyuk-Je Lee², Hwang-Goo Lee^{2*}

요 약

본 연구는 봉선사천에 재도입된 참갈겨니(*Zacco koreanus*) 개체군과 복원 개체군의 원 서식처인 조종천과 수동천의 종조성 및 하천 수환경을 평가하고, 하천별 서식하고 있는 참갈겨니의 생육상태 및 생식능력을 비교·분석하고자 하였다. 현지조사는 참갈겨니의 산란시기를 고려하여 2016년 6월에 조사를 실시하였다. 물리적 수환경 분석 결과 하천별 모두 고도, 유속, 수심의 차이는 적은 것으로 나타났으며, 하상구조는 Boulder, Cobble, Pebble의 비율이 높은 것으로 조사되었다. 이화학적 수환경 분석 결과 수온, pH, DO, BOD, EC 항목에서 하천별 모두 뚜렷한 차이를 보이지는 않는 것으로 분석되었다. 어류상 조사결과 봉선사천에서 총 3과 11종 530개체가 출현하였으며, 조종천에서 총 4과 12종 293개체, 수동천에서 총 4과 11종 361개체가 채집되었다. 하천별 모두 참갈겨니가 우점하고, 피라미(*Zacco platypus*)가 아우점하는 것으로 나타났다. 한국고유종은 하천별 모두 각각 6종씩 출현하여 50.0% 이상의 높은 고유종 빈도를 보였다. 군집지수 분석결과 평균 우점도지수는 0.63(±0.05, BS)~0.72(±0.01, JJ), 평균 다양도지수는 1.55(±0.06, JJ)~1.78(±0.11, BS), 평균 균등도지수는 0.71(±0.03, JJ)~0.76(±0.02, BS), 평균 풍부도지수는 1.61(±0.33, JJ)~1.73(±0.24, SD)의 범위로 분석되어 조사하천별 군집지수의 차이는 적은 것으로 나타났다. 유사도 분석결과 75.4%의 유사성을 기준으로 A와 B 두 개의 Group으로 구분되었으며, 조사지점별 어류상이 유사한 것으로 분석되었다. 정량적 서식처 평가 지수(QHEI) 분석 결과 QHEI는 평균 151.0(±46.0)으로 양호한 서식처 환경을 가지고 있는 것으로 분석되었다. 참갈겨니 개체군의 Length-weight 분석 결과 복원 개체군과 원 서식처 개체군의 회귀계수 *b*값이 3.0 이상으로 나타났으며, 비만도 지수 기울기는 양의 기울기를 갖는 것으로 분석되었다. 또한 복원 개체군에 비해 상대적으로 원 서식처 개체군의 회귀계수 *b*값 및 비만도 지수 기울기가 높은 것으로 나타났다. 참갈겨니 개체군의 Length frequency 분포를 분석한 결과 하천별 모두 안정적인 생활사를 유지하고 있는 것으로 분석되었으나 상대적으로 1년생 개체군에서 복원 개체군 보다는 원 서식처 개체군의 성장속도가 빠른 것으로 나타났다. 생식소중량 지수(GSI) 분석 결과 상대적으로 수컷과 암컷 모두 원 서식처인 조종천과 수동천의 개체군 보다 봉선사천 참갈겨니의 GSI median 값이 높은 것으로 분석되었다.

주요어: 조종천, 수동천, QHEI, Length-weight, Length frequency, GSI

1 접수 2017년 5월 22일, 수정 (1차: 2017년 11월 3일), 게재확정 2017년 11월 17일

Received 22 May 2017; Revised (1st: 3 November 2017); Accepted 17 November 2017

2 상지대학교 생명과학과 Department of Biological Science, Sangji University, Wonju 26339, Korea

a 이 논문은 국립수목원의 지원(과제번호 20150314861-00)에 의하여 연구되었음.

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-33-730-0430, Fax: +82-33-811-1030, E-mail: morningdew@sangji.ac.kr

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the species composition and the aquatic environment of Jojong Stream and Sudong Stream, which were the original habitats of *Zacco koreanus* population and restored population re-introduced in Bongseonsa Stream. It also compared and analyzed the states of the growth and reproductive ability of *Z. koreanus* habiting in each of the three streams. The investigation was conducted in June 2016 which was known as the spawning season of *Z. koreanus*. The results of the physical aquatic environments showed the slight differences in altitude, width and depth of water among three streams, but the bottom structure was found to be quite different in the composition of the boulder, cobble, and pebble among the streams. The result of the physicochemical aquatic environment analysis showed that there were no significant differences in water temperature, pH, DO, BOD, and EC among the three stream. In the fish fauna investigation, 530 individuals of 11 species of 3 families were collected in Bongseonsa Stream, 293 individuals of 12 species of 4 families were collected in Jojong Stream, and 361 individuals of 11 species of 4 families were collected in Sudong Stream. All three streams were dominated by *Z. koreanus* and *Z. platypus*. Six Korean endemic species appeared in each of the three streams, showing the high occurrence rate of indigenous species of 50.0% or more. The aggregation index analysis revealed that the mean dominance index ranged from 0.63 (± 0.05 , BS) to 0.72 (± 0.01 , JJ), mean diversity index from 1.55 (± 0.06 , JJ) to 1.78 (± 0.11 , BS), mean evenness index from 0.71 (± 0.03 , JJ) to 0.76 (± 0.02 , BS), and mean richness index from 1.61 (± 0.33 , JJ) to 1.73 (± 0.24 , SD). The result indicated that the observed differences between the stream community indices were statistically nonsignificant. The similarity analysis showed that 75.4% similarity was divided into two groups of A and B and that the fish fauna on each analyzed point was similar. The quantitative habitat evaluation index (QHEI) analysis showed that the average value of QHEI was 151.0 (± 46.0), which means that it was a suboptimal habitat environment. The result of length-weight analysis of *Z. koreanus* populations showed that the regression coefficient b of the restoration population and the original habitat population were at 3.0 or higher while the condition factor had a positive slope. Moreover, it was found that the slopes of the regression coefficient b and condition factor of the original habitat population were larger than the restored population. The analysis of the length frequency distribution of the *Z. koreanus* population revealed that all three streams maintained the stable life cycle although it was found that the growth rate of the original habitat population was faster than the restored population in the one-year-old class. The result of the gonadosomatic index (GSI) analysis showed that the GSI median value of the *Z. koreanus* population in the restored habitat Bongseonsa Stream was higher than the population in the original habitat Jojong Stream and Sudong Stream for both of males and females.

KEY WORDS: JOJONG STREAM, SUDONG STREAM, QHEI, LENGTH-WEIGHT, LENGTH FREQUENCY, GSI

서론

하천은 다양한 생물의 서식공간 및 물 공급원이며, 담수생물의 이동 통로 역할을 하고 있어 에너지 순환에 중요한 기능을 담당하고 있다(Byeon, 2013). 그러나 최근에는 토지이용의 고도화로 인해 하천을 중심으로 무분별한 개발이 이루어지고 있으며(Hur *et al.*, 2011), 이로 인한 하천 및

계곡 내에서 성행하고 있는 취사 행위와 개발행위, 탐방객들의 과도한 이용에 의한 수질오염 등은 자연생태계에 심각한 교란을 초래하고 있다(Park and Ma, 1999; Lee and Bae, 2007). 이러한 인위적인 교란에 의한 환경 변화는 하천에 서식하는 모든 생물의 서식지 및 산란장에 영향을 줄 수 있으며(Hur *et al.*, 2011), 생태적으로 전문적인 관리와 복원이 필요한 시점이다(Park and Ma, 1999; Lee and Bae, 2007).

본 연구의 대상하천인 봉선사천은 경기도 포천시 소흘읍 광릉숲 내에 위치하고 있다. 광릉숲은 국내에서는 4번째로 유네스코 세계 생물권보존지역으로 지정이 되어 생물다양성의 보고로 자리매김하고 있다. 그러나 봉선사천 역시 최근 도시화로 인한 인구증가 및 교통의 발달로 하천 주변에 민가와 식당, 숙박업소 등이 무분별하게 증가하고 있어 이로 인한 하천 내 수질오염이 가속화됨에 따라 과거 봉선사천 내에서 서식이 기록된 일부 어종이 최근에는 출현하지 않는 것으로 확인되었다. 이처럼 어류는 수중 생태계의 최상위 소비자로서 중요한 위치를 차지하고 있으나 서식환경의 변화에 민감하게 반응하는 동물군으로 인위적인 간섭에 따른 환경 변화는 하천생태계의 어류상을 변화시키는 가장 큰 요인이라 할 수 있다(Rutherford *et al.*, 1987; Han *et al.*, 2007). 과거 광릉숲 일대 어류상 조사(The Government-General of Korea, 1932)의 선행연구에서는 봉선사천에서 참갈겨니(*Zacco koreanus*)가 출현한 것으로 기록되어 있으나 그 후 Choi and Byeon (2009)의 조사연구에서는 출현하지 않는 것으로 조사되어 봉선사천 일대에서 지역적 멸종이 발생한 것으로 추정되었다. 따라서 봉선사천의 참갈겨니 개체군을 재도입하기 위한 일환으로 서식환경 및 지역적으로 유사한 조종천과 수동천에서 2008년 참갈겨니 200개체를 채집하여 봉선사천에 방류하였으며(Byeon, 2011), 추후 Byeon (2011)에 의한 조사 연구 결과 참갈겨니 개체군이 봉선사천에서 재도입되어 안정적으로 정착된 것으로 확인되었다.

본 연구의 대상어종인 참갈겨니는 잉어과(Cyprinidae) 피라미속(*Zacco*)에 속하는 1차담수어(Primary fresh water fish)로서 기존에는 갈겨니(*Zacco temminckii*) 1종으로 알려져 왔으나(Choi *et al.*, 2006) 지리적 분포 및 외형 등의 차이를 근거로 신종으로 재 기재된 어종이다(Kim *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2005a).

봉선사천 일대의 어류를 대상으로 한 선행연구에는 광릉수목원 일대 어류상에 관한 조사(The Government-General of Korea, 1932)가 있으나 조사지점이 불명확하여 봉선사천만의 어류상을 추정하기에는 어려운 실정이다. 최근에는 이를 보완하여 봉선사천을 대상으로 실시한 광릉수목원의 어류상 및 어류 군집(Choi and Byeon, 2009)에 관한 연구와 봉선사천의 어류 군집 및 재도입된 참갈겨니 개체군(Byeon, 2011)에 관한 연구가 진행되었으나 복원에 따른 정착 이후 참갈겨니 개체군의 서식처 적응에 관한 조사 및 연구는 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 과거 봉선사천에 재도입된 참갈겨니 개체군과 원 서식처인 조종천 및 수동천에 서식하는 참갈겨니 개체군간의 생장 및 생식능력 차이의 비교·분석을 통해 재도입된 참갈겨니 개체군의 서식처 적응 과정 및 생태적 특성을 분석하고자 하며, 어류의 재도입 및 복원 서식처 조

성시 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

연구방법

1. 조사지점 및 시기

현장 조사시기는 참갈겨니 개체군의 산란시기를 고려하여 2016년 6월 27일과 29일에 걸쳐 조사를 실시하였다. 조사 하천은 참갈겨니 개체군이 재도입된 봉선사천(BS: Bongseonsa Stream)과 원 서식처인 조종천(JJ: Jojong Stream) 및 수동천(SD: Sudong Stream)을 대상으로 조사를 실시하였으며, 각 조사지점 및 GPS는 다음과 같다(Figure 1).

- BS (St. 1): 경기도 남양주시 진접읍 부평리 능내교(N: 37° 44' 57.81", E: 127° 10' 51.85")
- BS (St. 2): 경기도 남양주시 진접읍 부평리(N: 37° 44' 54.08", E: 127° 11' 27.96")
- JJ (St. 1): 경기도 가평군 상면 원흥리 물곡교(N: 37° 49' 42.91", E: 127° 19' 09.23")
- JJ (St. 2): 경기도 가평군 상면 원흥리 원흥교(N: 37° 49' 15.59", E: 127° 19' 28.24")
- SD (St. 1): 경기도 포천시 신북면 덕둔리 덕둔2리 마을회관(N: 37° 57' 23.60", E: 127° 07' 20.68")
- SD (St. 2): 경기도 포천시 신북면 덕둔리 직사교(N: 37° 59' 01.44", E: 127° 05' 50.12")

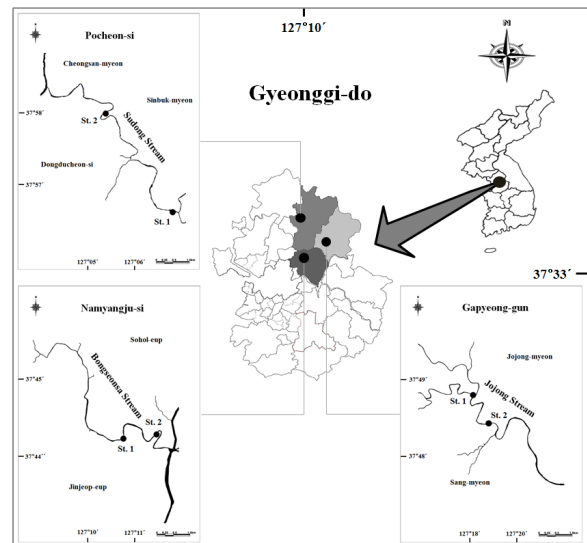


Figure 1. The map of study sites in the stream in the Bongseonsa Stream, Jojong Stream and Sudong Stream.

2. 조사방법

서식처 내 물리적 특성분석은 2016년 6월 현장조사를 통해 분석을 실시하였다. 레이저 거리측정계(Nikon LASER 1200S)를 이용하여 조사지역의 유풍을 측정하였으며, Digital water velocity meter(FP111)를 이용하여 유속과 수심을 측정하였다. 하상구조물의 계측 및 분류는 Cummins(1962)의 방법을 적용하여 Boulder, Cobble, Pebble, Gravel, Silt/Sand의 5단계로 구분하여 상대적인 구성 비율을 측정하였다. 서식처 내 이화학적 특성분석은 현장조사를 통해 분석을 실시하였다. 수질 항목 중에서 수온, pH, 용존산소(DO), 전기전도도(EC)는 YSI를 이용하여 현장에서 직접 측정하였으며, 생물화학적산소요구량(BOD)은 현장수를 채수하여 시료병에 옮긴 후 실험실 내에서 분석하였다.

어류의 채집은 각 조사지점에서 정량조사를 위하여 투망(7×7mm)과 족대(4×4mm)를 각각 12회, 30분간 실시하였다. 채집된 어류는 대부분 현장에서 동정 및 개체수를 파악하고, 참갈겨니 개체군의 길이와 무게를 측정 후 방류하였다. 생식소 측정을 위한 참갈겨니 개체들은 현장에서 실험실로 운반 후 생식소 무게를 측정하였다. 어류의 동정은 국내에서 발표된 검색표(Kim, 1997; Kim and Park, 2002; Kim *et al.*, 2005b)를 이용하였고, 분류체계는 Nelson(2006)을 참고하였다.

3. 분석방법

1) 군집분석

군집분석은 조사지역별 정량적으로 채집된 자료로부터 출현한 분류군의 수를 비교하여 출현종수, 출현개체수, 우점종, 우점도지수(McNaughton, 1967), 다양도지수(Shannon-Weaver, 1949), 균등도지수(Pielou, 1975), 풍부도지수(Margalef, 1958)를 산출하였다.

2) 정량적 서식처 평가 지수(QHEI)

봉선사천, 조종천, 수동천의 서식처 분석은 Plafkin *et al.*(1989)이 제시한 모델인 정량적 서식처 평가 기법(QHEI, Qualitative habitat evaluation index)의 방법에서 본 연구 대상지의 환경에 적용 가능한 10개의 항목을 선택하여 적용하였다. 각 변수는 최적(200~149), 양호(148~91), 보통(90~33), 악화(32이하)의 상태로 구분하였으며, 각 10개의 점수를 합산하여 하천의 물리적 건강성을 평가하였다.

3) 참갈겨니 개체군 분석

봉선사천에 재도입되어 서식하고 있는 참갈겨니 개체군과 원 서식처인 조종천과 수동천에 서식하는 참갈겨니 개체군

과의 생육상태를 비교·분석하기 위하여 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; Busacker *et al.*, 1990; Ney, 1993). 전장-체중 상관성(Length-weight relationship)은 Anderson and Gutreuter(1983)의 $W=aTL^b$ (W =weight, TL =total length, a , b =parameter)를 따랐으며, 비만도 지수(Condition factor, k)는 Anderson and Neumann(1996)의 $K=W/TL^3$ (W =weight, TL =total length)을 적용하였다. 또한 참갈겨니 개체군의 전장빈도분포를 실시하여 개체군의 생활사가 안정적으로 이루어지고 있는지 파악하였다.

4) 생식소중량지수(GSI)

생식소중량지수인 GSI(Gonado somatic index)는 전장의 길이가 90mm 이상인 참갈겨니 개체들을 대상으로 체중 및 적출된 생식소를 전자저울을 이용하여 0.01g까지 측정된 후 측정된 값을 토대로 Delahunty and de Vlaming(1980)의 방법을 참고하여, 다음과 같은 식으로 GSI를 산출하였다.

$$GSI=GS \times 100/W$$

GS: 생식소 무게(g), W: 체중(g)

5) 통계분석

통계분석은 Biodiversity Pro (ver. 2)를 이용하여 조사지역별 유사성을 분류하고자 유사도(Bray and Curtis, 1957) 분석을 실시하였으며, 통계적인 차이 및 상관성을 파악하기 위해 SPSS를 이용하여 ANOVA test와 상관관계 분석(Pearson Correlation Analysis)을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 서식처의 물리·화학적 수환경 분석

조사하천별 물리적 수환경을 분석한 결과는 다음과 같다(Table 1). 고도는 75(SD, St. 2)~199 m(JJ, St. 1)의 범위로 측정되었으며, 조종천이 봉선사천과 수동천에 비해 상대적으로 고도가 높은 것으로 나타났다. 최대유풍은 6.5(SD, St. 1)~27.0 m(BS, St. 2)의 범위로 조사지역별 상·하류의 차이를 나타내고 있었다. 최대수심은 43(BS, St. 1)~127 cm(JJ, St. 2)의 범위로 조종천에서 부분적으로 소(pool)가 발달하여 봉선사천 및 수동천에 비하여 수심이 깊은 것으로 나타났다. 하상구조는 조사하천별 Boulder, Cobble, Pebble의 비율이 상대적으로 높은 것으로 조사되었으며, 본 조사지역은 하천 상류역에 해당하여 입자가 작은 Gravel과 Sand의

비율이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 결과적으로 봉선사천, 조종천, 수동천의 물리적 수환경의 차이는 비교적 적은 것으로 조사되었으며, 하천별 유사한 서식처 환경을 유지하고 있는 것으로 판단된다.

조사하천별 이화학적 수환경을 분석한 결과는 다음과 같다 (Table 2). 평균 수온은 봉선사천 21.1°C(±1.1), 조종천 20.2°C(±1.0), 수동천 23.3°C(±2.3)으로 측정되었으며, 수변부 수목의 발달이 미약한 수동천에서 상대적으로 수온이 다소 높은 것으로 나타났다. 평균 pH는 봉선사천 7.8 (±0.06), 조종천 7.80(±0.07), 수동천 8.30(±0.98)으로 어류의 서식에 적합한 범위로 분석되었다. 평균 용존산소(DO)는 봉선사천 6.63mg/L-1(±0.61), 조종천 7.20mg/L-1(±0.54), 수동천 8.45 mg/L-1(±1.80)으로 어류가 서식하기에 풍부한 용존산소를 유지하고 있었다. 어류의 성장에 제한을 주는 용존산소는 3mg/L-1이하로 알려져 있으며(Kim *et al.*, 2012), 본 연구의 대상어종인 참갈겨니는 최소 6.1mg/L-1의 용존산소가 요구되는 민감종으로(Seo *et al.*, 2008) 조사지역별 참갈겨

니가 서식하기에 적합한 것으로 조사되었다. 평균 생물화학적 산소요구량(BOD)은 봉선사천 2.25mg/L-1(±0.71), 조종천 2.57mg/L-1(±0.40), 수동천 3.52mg/L-1(±2.12)로 우리나라의 하천 생활환경기준에 의거할 때 약간 좋음(Ⅱ 등급)~보통(Ⅲ 등급)에 해당하였다. 평균 전기전도도(EC)는 봉선사천 278.90 μ S/cm(±1.13), 조종천 256.60 μ S/cm(±8.06), 수동천 219.90 μ S/cm(±5.52)으로 나타났다. 따라서 조사하천별 이화학적인 수환경의 차이는 비교적 적은 것으로 분석되었으며, 하천별 유사한 수질환경을 유지하고 있는 것으로 판단된다.

2. 어류상

본 연구의 대상하천인 봉선사천, 조종천, 수동천에서 실시한 어류 조사 결과 총 5과 15종 1,174개체가 출현하였다 (Table 3). 봉선사천에서는 총 3과 11종 530개체로 잉어과(Cyprinidae)에서 7종(63.6%)으로 가장 다양한 종이 출현

Table 1. Physical factors of the surveyed each site in the Bongseonsa Stream, Jojong Stream and Sudong Stream

| Sites | Altitude (m) | Stream width (m) | Water depth (cm) | Bottom structure *B:C:P:G:S | |
|-------|--------------|------------------|------------------|-----------------------------|---------------------|
| BS | St. 1 | 100 | 5.8~15.6 | 4~43 | B:C:P:G:S=4:2:2:1:1 |
| | St. 2 | 76 | 21.0~27.0 | 5~46 | B:C:P:G:S=4:2:2:1:1 |
| JJ | St. 1 | 199 | 0.8~7.0 | 15~52 | B:C:P:G:S=6:1:1:1:1 |
| | St. 2 | 172 | 0.6~15.0 | 9~127 | B:C:P:G:S=6:1:1:1:1 |
| SD | St. 1 | 116 | 0.5~6.5 | 5~89 | B:C:P:G:S=4:3:1:1:1 |
| | St. 2 | 75 | 1.0~24.0 | 10~47 | B:C:P:G:S=6:1:1:1:1 |

BS: Bongseonsa Stream, JJ: Jojong Stream, SD: Sudong Stream

* B: Boulder>256mm, C: Cobble 64~256mm, P: Pebble 16~64mm, G: Gravel 2~16mm, S: Sand/Silt 0.2<2mm

Table 2. Environmental factors of the surveyed each site in the Bongseonsa Stream, Jojong Stream and Sudong Stream

| Sites | Water temperature (°C) | pH | DO (mg/L ⁻¹) | BOD (mg/L ⁻¹) | EC (μ S/cm) | |
|-------|------------------------|--------------|--------------------------|---------------------------|------------------|---------------|
| BS | St. 1 | 20.30 | 7.79 | 6.20 | 1.75 | 278.10 |
| | St. 2 | 21.80 | 7.87 | 7.06 | 2.75 | 279.70 |
| | mean | 21.10(±1.10) | 7.83(±0.06) | 6.63(±0.61) | 2.25(±0.71) | 278.90(±1.13) |
| JJ | St. 1 | 19.50 | 7.75 | 6.82 | 2.29 | 262.30 |
| | St. 2 | 20.90 | 7.85 | 7.58 | 2.85 | 250.90 |
| | mean | 20.20(±1.00) | 7.80(±0.07) | 7.20(±0.54) | 2.57(±0.40) | 256.60(±8.06) |
| SD | St. 1 | 21.60 | 7.60 | 7.18 | 2.02 | 216.00 |
| | St. 2 | 24.90 | 8.99 | 9.72 | 5.02 | 223.80 |
| | mean | 23.30(±2.30) | 8.30(±0.98) | 8.45(±1.80) | 3.52(±2.12) | 219.90(±5.52) |

BS: Bongseonsa stream, JJ: Jojong stream, SD: Sudong stream, DO: Dissolved oxygen, BOD: Biological oxygen demand, EC: Electric conductivity

Table 3. A list of individual number of fish collected at each station in the Bongseonsa Stream, Jojong Stream and Sudong Stream from June 2016

| Species | Sampling stations | | | | | | Total | |
|--------------------------------------|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| | BS | | JJ | | SD | | | |
| | St.1 | St.2 | St.1 | St.2 | St.1 | St.2 | | |
| Family Cyprinidae | 잉어과 | | | | | | | |
| <i>Pungtungia herzi</i> | 돌고기 | 13 | 23 | 9 | 7 | 28 | 13 | 173 |
| <i>Coreoleuciscus splendidus</i> | 쉬리 | | | | | 3 | 4 | 14 |
| ♣ <i>Squalidus gracilis majimae</i> | 긴몰개 | 15 | 11 | | 6 | | | 49 |
| <i>Hemibarbus longirostris</i> | 참마자 | 24 | 38 | | | 8 | 7 | 130 |
| <i>Pseudogobio esocinus</i> | 모래무지 | 16 | 16 | 2 | 8 | 12 | 6 | 104 |
| ♣ <i>Microphysogobio yaluensis</i> | 돌마자 | | | | 16 | 3 | 13 | 64 |
| <i>Rhynchocypris oxycephalus</i> | 버들치 | 3 | 12 | 6 | | | | 39 |
| ♣ <i>Zacco koreanus</i> | 참갈겨니 | 92 | 76 | 67 | 79 | 67 | 97 | 864 |
| <i>Zacco platypus</i> | 피라미 | 68 | 93 | 28 | 36 | 36 | 41 | 536 |
| Family Balitoridae | 종개과 | | | | | | | |
| <i>Orthrias nudus</i> | 대륙종개 | | | 4 | | 7 | 3 | 28 |
| Family Cobitidae | 미꾸리과 | | | | | | | |
| ♣ <i>Koreocobitis rotundicaudata</i> | 새코미꾸리 | 2 | 2 | 2 | | | 2 | 14 |
| ♣ <i>Iksokimia koreensis</i> | 참종개 | 6 | 9 | 3 | | 5 | 4 | 48 |
| Family Centropomidae | 꺼지과 | | | | | | | |
| ♣ <i>Coreoperca herzi</i> | 꺼지 | | | | | | 2 | 2 |
| Family Odontobutidae | 동사리과 | | | | | | | |
| ♣ <i>Odontobutis interrupta</i> | 얼룩동사리 | 3 | 7 | 7 | 3 | | | 20 |
| ♣ <i>Odontobutis platycephala</i> | 동사리 | | 1 | | | | | 1 |
| Total number of family | | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Total number of species | | 10 | 11 | 10 | 8 | 9 | 11 | 15 |
| Total number of individual | | 242 | 288 | 133 | 160 | 169 | 192 | 1,174 |

BS: Bongseonsa stream, JJ: Jojong stream, SD: Sudong stream

♣: Korean endemic species

하였으며, 미꾸리과(Cobitidae), 동사리과(Odontobutidae)에서 각각 2종(18.2%)씩 출현하였다. 출현개체수는 잉어과에서 총 500개체(94.3%)로 출현개체수의 대부분을 차지하였으며, 미꾸리과 19개체(3.6%), 동사리과 11개체(2.1%)가 조사되었다. 조종천에서는 총 4과 12종 293개체로 출현분류군 중 잉어과에서 8종(66.7%)으로 가장 다양한 종이 출현하였으며, 미꾸리과 2종(16.7%), 종개과(Balitoridae), 동사리과에서 각각 1종(8.3%)이 출현하였다. 출현개체수는 잉어과에서 총 274개체(93.5%)로 출현개체수의 대부분을 차지하였으며, 동사리과 10개체(3.4%), 미꾸리과 5개체(1.7%), 종개과 4개체(1.4%) 등의 순으로 조사되었다. 수동천에서는 총 4과 11종 361개체로 출현분류군 중 잉어과에서 7종(63.6%)으로 가장 다양한 종이 출현하였으며, 미꾸리과 2종(18.2%), 종개과, 꺼지과(Centropomidae)에서 각

각 1종(9.1%)이 출현하였다. 출현개체수는 잉어과에서 총 338개체(93.5%)로 출현개체수의 대부분을 차지하였으며, 미꾸리과 11개체(3.0%), 종개과 10개체(2.8%), 꺼지과 2개체(0.6%)로 등의 순으로 조사되었다. 조사하천별 모두 잉어과에 속하는 어류의 종수 및 개체수가 가장 풍부하였는데, 이는 한강수계 하천의 일반적인 결과와 일치하였다(Byeon and Lee, 2006).

봉선사천에서 출현한 어종의 상대풍부도를 분석한 결과 참갈겨니가 168개체(31.7%)로 가장 높은 상대풍부도를 보였으며, 다음으로 피라미(*Zacco platypus*) 161개체(30.4%), 참마자(*Hemibarbus longirostris*) 62개체(11.7%), 돌고기(*Pungtungia herzi*) 36개체(6.8%), 모래무지(*Pseudogobio esocinus*) 32개체(6.0%) 등의 순으로 나타났다. 조종천에서 출현한 어종의 상대풍부도를 분석한 결과 참갈겨니가 146

개체(49.8%)로 가장 높은 상대풍부도를 보였으며, 다음으로 피라미 64개체(21.8%), 돌마자(*Microphysogobio yaluensis*) 16개체(5.5%), 돌고기 16개체(5.5%), 얼룩동사리(*Odontobutis interrupta*) 10개체(3.4%) 등의 순으로 나타났다. 수동천에서 출현한 어종의 상대풍부도를 분석한 결과 참갈겨니가 164개체(45.4%)로 가장 높은 상대풍부도를 보였으며, 다음으로 피라미 77개체(21.3%), 돌고기 41개체(11.4%), 모래무지 18개체(5.0%), 돌마자 16개체(4.4%) 등의 순으로 나타났다. 한국고유종은 출현 지역의 생물상을 특징짓는 기준으로 서식지의 수환경과 관련성이 높으며(Jeon, 1980; Choi *et al.*, 2000), 주로 중·상류역의 여울부 돌 밑을 선호하는 저서성종들이 대부분을 차지하고 있다(Byeon, 2013). 또한 일반적인 하천에서의 한국고유종 빈도는 28.8%로 알려져 있다(Kim *et al.*, 2005c). 본 조사에서 출현한 고유종은 긴물개(*Squalidus gracilis majimae*), 돌마자, 참갈겨니, 새코미꾸리(*Koreocobitis rotundicausata*), 참종개(*Iksookimia koreensis*), 꺾지(*Coreoperca herzi*), 얼룩동사리, 동사리(*Odontobutis platycephala*) 등 총 8종이 출현 하였다. 조사하천별로는 봉선사천은 6종(54.5%), 조종천 6종(50.0%), 수동천 6종(54.5%)으로 조사하천별 모두 매우 높은 고유종 빈도로 나타났는데 이는 정수역 보다는 Boulder위주의 여울부가 비교적 많이 형성되어 있어 저서성종들의 서식공간이 제공되었으며, 직접적인 하천 교란 및 훼손이 적어 수환경이 양호하게 유지되고 있기 때문인 것으로 판단된다.

3. 군집분석

조사하천의 군집구조를 분석하기 위하여 우점종 및 아우점종을 파악하였으며, 우점도지수, 다양도지수, 균등도지수,

풍부도지수를 분석하였다(Table 4).

조사하천별 우점종은 참갈겨니, 아우점종은 피라미로 조사되었으며, 우점종 및 아우점종의 상대풍부도는 봉선사천에서 참갈겨니 31.7%, 피라미 30.4%, 조종천에서 참갈겨니 49.8%, 피라미 21.8%, 수동천에서 참갈겨니 45.4%, 피라미 21.3%로 분석되었다. 우점도지수는 평균 0.63(±0.05, BS)~0.72(±0.01, JJ)의 범위로 분석되었으며, 이 중 조종천에서 상대적으로 높게 나타났으며, 봉선사천과 수동천은 비교적 유사한 것으로 분석되었다. 다양도지수는 평균 1.55(±0.06, JJ)~1.78(±0.11, BS)의 범위로 봉선사천에서 상대적으로 높게 나타났으며, 우점도지수가 높은 조종천에서 다소 낮게 분석되었다. 균등도지수와 풍부도지수는 평균 0.71(±0.03, JJ)~0.76(±0.02, BS)과 1.61(±0.33, JJ)~1.73 (±0.24, SD)의 범위로 분석되어 하천별 지수의 차이는 비교적 적은 것으로 분석되었다. 일반적으로 어류 군집에 있어서 불안정적인 군집구조는 하천 산간 계류와 상류역에서 나타나는 일반적인 양상(Choi and Choi, 2005)으로 알려져 있다. 본 조사지역의 경우 우점도지수는 높고 다양도지수, 균등도지수, 풍부도지수가 낮은 것으로 분석되었는데, 이는 본 조사수역 모두 하천의 상류역에 해당하기 때문인 것으로 판단된다.

4. 유사도 분석

조사하천별 종조성의 유사성을 파악하기 위해 조사지점별 출현종과 개체수를 대상으로 유사도분석을 실시하였다(Figure 2). 조사구간별 유사도분석 결과 75.4%의 유사성을 기준으로 A, B 2개의 Group으로 구분되었다. Group-A에서 수동천(SD) St. 2와 조종천(JJ) St. 2가 82.9%로 높은 유사성을 갖는 것으로 분석되었으며, 수동천(SD) St. 1과

Table 4. Dominant, sub-dominant species, and community indices at the each site in the Bongseonsa Stream, Jojong Stream and Sudong Stream

| Sites | Dominant species | Subdominant species | DI | H' | E | RI |
|----------|-----------------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| BS St. 1 | <i>Zacco koreanus</i> | <i>Zacco platypus</i> | 0.66 | 1.70 | 0.74 | 1.64 |
| BS St. 2 | <i>Zacco platypus</i> | <i>Zacco koreanus</i> | 0.59 | 1.86 | 0.77 | 1.77 |
| | Mean | | 0.63(±0.05) | 1.78(±0.11) | 0.76(±0.02) | 1.71(±0.09) |
| JJ St. 1 | <i>Zacco koreanus</i> | <i>Zacco platypus</i> | 0.71 | 1.59 | 0.69 | 1.84 |
| JJ St. 2 | <i>Zacco koreanus</i> | <i>Zacco platypus</i> | 0.72 | 1.51 | 0.73 | 1.38 |
| | Mean | | 0.72(±0.01) | 1.55(±0.06) | 0.71(±0.03) | 1.61(±0.33) |
| SD St. 1 | <i>Zacco koreanus</i> | <i>Zacco platypus</i> | 0.61 | 1.71 | 0.78 | 1.56 |
| SD St. 2 | <i>Zacco koreanus</i> | <i>Zacco platypus</i> | 0.72 | 1.59 | 0.66 | 1.90 |
| | Mean | | 0.67(±0.08) | 1.65(±0.08) | 0.72(±0.08) | 1.73(±0.24) |

BS: Bongseonsa stream, JJ: Jojong stream, SD: Sudong stream, DI: Dominance index, H': Diversity index, E: Evenness index, RI: Richness index

조종천(JJ) St. 1이 78.9%의 유사성을 나타내었다. 한편, Group-B에서는 봉선사천(BS) St. 1, 2가 83.7%의 유사성을 갖는 것으로 분석되어 조사지점별 유사성이 매우 높은 것으로 조사되었다. 조사하천별 유사성이 높은 것으로 나타났는데 이는 조사지역이 하천 상류역에 해당하여 하상구조 및 수환경이 비슷한 특성을 유지하고 있기 때문이며, 이러한 특성으로 인하여 조사지점별 출현종과 개체수가 비교적 유사하게 출현하였기 때문인 것으로 판단된다.

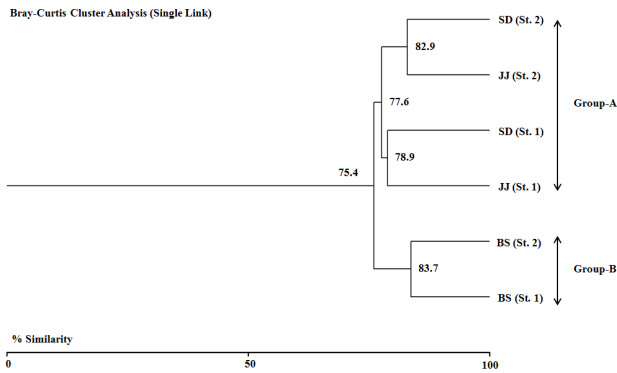


Figure 2. Cluster analysis based on fish communities assemblages collected at 2 sites in the Bongseonsa Stream, Jojong Stream and Sudong Stream.

5. 정량적 서식처 평가 지수(QHEI)

조사하천별 정량적 서식처 평가 지수를 이용한 서식처 평가 분석 결과, 각 서식처들의 질적 변화는 지점들의 변수 특성에 따라 변화하였다(Table 5). 봉선사천의 QHEI는 평균 151.0(±46.0, 범위: 161~91), 조종천은 평균 156.3(±8.1, 범위: 161~91), 수동천은 평균 160.5(±20.5, 범위: 161~91)로 조사하천별 평균값의 차이는 있으나 모두 S 등급의 양호한 서식처 환경을 유지하고 있는 것으로 평가되었다. 이러한

결과는 조사하천별 수변 식생이 제방에 안정적으로 활착해 있는 상태로 하천에 형성된 수관과 하천으로 투과되는 빛의 비율이 일정하며, 하천 내 인공구조물(보)이 설치되어 있지 않아 상대적으로 양호한 서식처 수환경을 유지하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

6. 참갈겨니 개체군의 Length-weight 분석

조사하천별 채집된 참갈겨니 개체군의 Length-weight relationship 및 Condition factor (k)의 분석을 실시한 결과는 다음과 같다(Figure 3). Length-weight relationship 및 Condition factor (k)는 주어진 환경에 서식하는 개체군의 건강상태 또는 생식능력의 정도를 파악할 수 있는 자료를 제공한다(Seo, 2005; Choi *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2012). 일반적으로 개체군의 성장도를 나타내는 회귀계수 *b*값은 3.0보다 작으면 길이에 비해 개체가 비대하지 못함을 의미하며, 3.0 보다 크면 길이에 비해 비대하다는 것을 뜻한다(Han *et al.*, 2007). 또한 비만도 지수의 경우 양의 기울기이면 상대적으로 개체군의 생육상태가 양호함을 의미하며, 음의 기울기일 경우 생육상태가 불량한 것을 의미한다(Carl and Peter, 1990; Seo, 2005). 재도입개체군이 서식하는 봉선사천에서 채집된 참갈겨니 개체군의 회귀계수 *b*값은 3.2389로 나타났으며, 비만도를 나타내는 Condition factor(k) 값의 기울기는 0.0028의 양의 기울기를 갖는 것으로 분석되었다. 참갈겨니의 원 개체군이 서식하는 조종천과 수동천의 경우 회귀계수 *b*값은 각각 3.4020과 3.4404로 분석되었으며, 비만도 지수 기울기는 각각 0.0044와 0.0042로 두 하천 모두 양의 기울기를 갖는 것으로 나타났다. 따라서 조사하천별 서식하는 참갈겨니 개체군의 성장도는 3.0보다 높고, 비만도 지수 기울기는 양의 기울기로 나타나 조사하천별 안정적인 생육상태를 유지하고 있는 것으로 분석되었다.

일반적으로 어류의 성장은 수환경, 밀도, 먹이생물, 채집

Table 5. Qualitative habitat evaluation index(QHEI) at 2 sampling sites in the Bongseonsa Stream, Jojong Stream and Sudong Stream

| Site | QHEI | | | | |
|------|-------|------------|------|--------------|---|
| | Index | Assessment | Mean | Assessment | |
| BS | St. 1 | 183.5 | O | 151.0(±46.0) | S |
| | St. 2 | 118.5 | S | | |
| JJ | St. 1 | 150.5 | O | 156.3(±8.1) | S |
| | St. 2 | 162.0 | O | | |
| SD | St. 1 | 146.0 | S | 160.5(±20.5) | S |
| | St. 2 | 175.0 | O | | |

BS: Bongseonsa stream, JJ: Jojong stream, SD: Sudong stream, Optimal (O): 162 over, Submarginal (S): 161-91

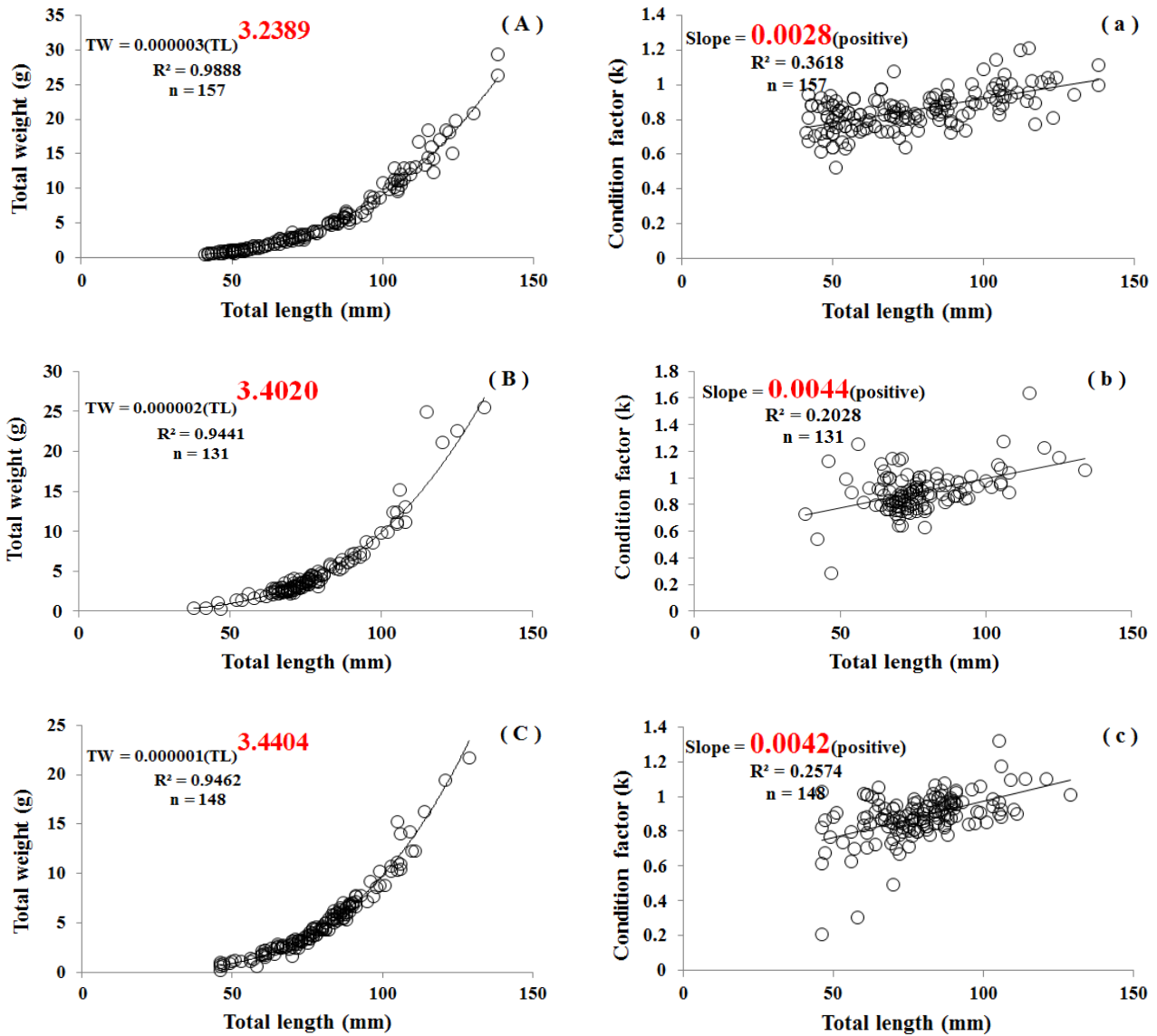


Figure 3. Relationship between total length and body weight of *Z. koreanus* sampled in the (A) Bongseonsa Stream, (B) Jojong Stream and (C) Sudong Stream, Condition factor(k) for *Z. koreanus* population sampled in the (a) Bongseonsa Stream, (b) Jojong Stream and (c) Sudong Stream.

방법, 채집시기 등에 따라 많은 차이를 보이는 것으로 알려져 있다(Song *et al.*, 2012). 하지만, 본 연구 대상지의 경우 조사방법, 조사시기, 어류군집, 서식처 수환경, 종조성 등 매우 유사한 조건이 적용되었음에도 불구하고 재도입 개체군이 서식하는 봉선사천의 회귀계수 b 값 및 비만도 지수 기울기 값이 원 개체군이 서식하는 조종천과 수동천에 비해 상대적으로 다소 낮게 분석되었다. 이는 원 서식처에 서식하고 있는 참갈겨니 개체군이 재도입 개체군 보다 수환경 및 서식처에 먹이가 풍부한 원인으로 판단되나, 본 참갈겨니

개체군 조사가 1회 조사에 국한되어 있어 생육상태 및 먹이 이용능력을 판단하기에는 어려움이 따르며, 추후 계절적인 모니터링을 통한 추가적인 분석이 필요할 것으로 생각된다.

7. 참갈겨니 개체군의 Length frequency 분포

참갈겨니 개체군의 재도입 서식처인 봉선사천과 원 서식처인 조종천 및 수동천에서 채집된 참갈겨니의 Length frequency 분포 분석을 통해 연령을 추정된 결과는 다음과

같다(Figure 4). 일반적인 참갈겨니의 연령 분포는当年생 60mm이하, 만 1년생 60~80mm, 만 2년생, 90~120mm, 만 3년생 130mm이상으로 알려져 있다(Im *et al.*, 2010). 봉선사천, 조종천, 수동천 모두当年생부터 만 3년생 이상의 개체들이 출현하여 조사하천별 참갈겨니 개체군의 안정적인 생활사가 이루어지고 있는 것으로 분석되었다. 하지만 봉선사천의 경우 만 1년생 개체들에서 일반적인 전장분포 보다 상대적으로 크기가 작은 개체들이 주로 분포하는 것으로 조사되었다. 원 개체군이 서식하는 조종천의 경우 만 1년생 개체들의 전장분포가 일반적으로 알려진 참갈겨니의 전장 분포와 일치하는 것으로 나타났으며, 수동천의 경우에는 만 1년생 전장빈도분포 보다 상대적으로 크기가 큰 개체들이 주로 분포하고 있는 것으로 나타났다. 이처럼 유사한 서식환경 조건임에도 불구하고 봉선사천과 조종천에 비해 상대적으로 수동천에 서식하고 있는 참갈겨니 개체군에서当年생부터 1년생 개체군의 성장이 빠른 것은 먹이원이 풍부할 뿐만 아니라 활발한 먹이활동을 통한 개체성장을 하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

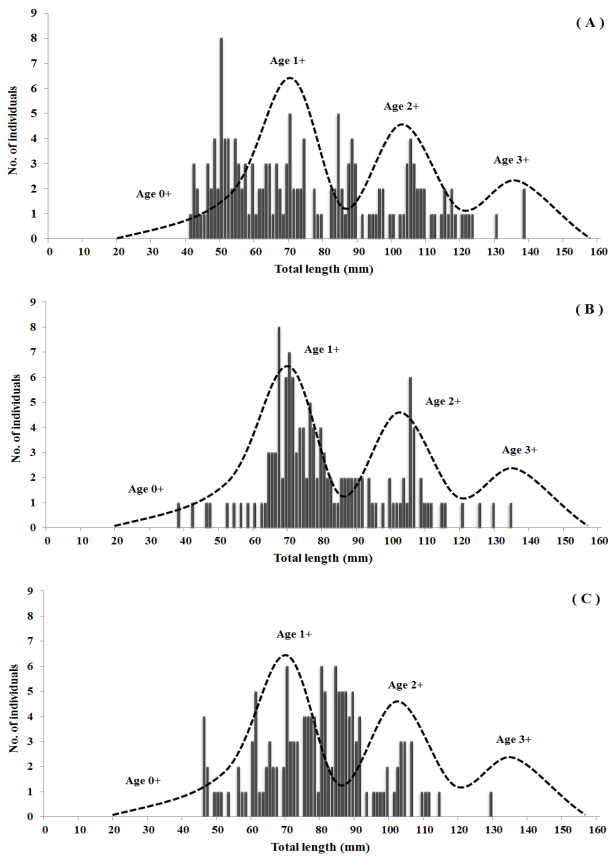


Figure 4. Length frequency distributions of *Z. koreanus* sampled in the (A) Bongseonsa Stream, (B) Jojong Stream and (C) Sudong Stream.

8. 생식소 중량지수(GSI)

재도입 서식처인 봉선사천과 원 서식처인 조종천 및 수동천에서 채집된 참갈겨니 개체군의 생식소 중량지수(GSI)를 분석한 결과는 다음과 같다(Figure 5). 참갈겨니 개체군 수컷의 생식소 중량지수 분석 결과 재도입 개체군이 서식하는 봉선사천의 GSI median 값이 원 서식처인 조종천과 수동천에 서식하는 개체군보다 상대적으로 높은 것으로 분석되었다. 암컷의 GSI median 값 또한 봉선사천의 재도입 개체군이 원 서식처의 개체군보다 높은 것으로 나타났다. 수컷과 암컷의 GSI를 각 하천과의 상관성을 파악하기 위해 One way ANOVA 분석을 실시한 결과 수컷은 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석되었으나, 암컷의 경우 재도입 개체군과 원 개체군간 통계적으로 높은 차이를 보이는 것으로 분석되었다($p < 0.01$). 일반적으로 개체의 크기보다 생식소의 크기(무게)가 클수록 더욱 강한 서식처 경쟁을 실시하는 것으로 알려져 있다(Neat *et al.*, 1998). 따라서 봉선사천의 재도입 개체군인 참갈겨니가 원 서식처의 참갈겨니 보다

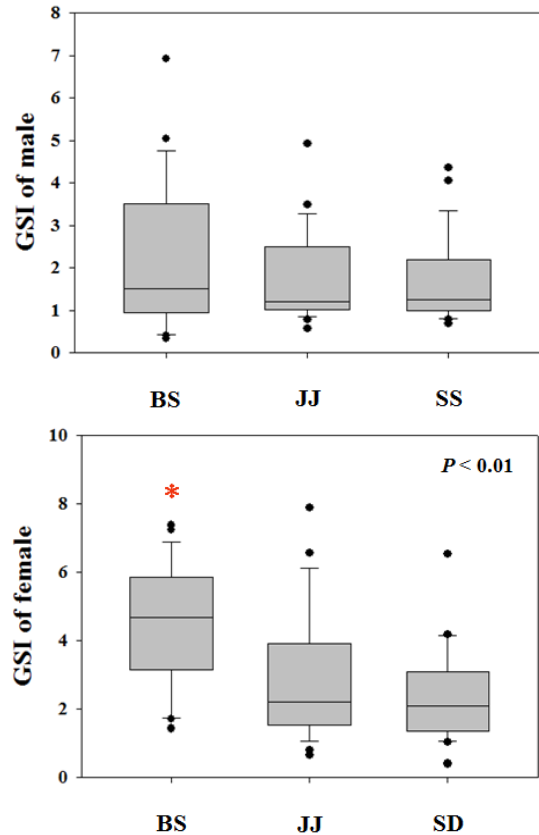


Figure 5. Gonado somatic index(GSI) of the *Z. koreanus* sampled in the BS (Bongseonsa Stream), JJ (Jojong Stream) and SD (Sudong Stream). Vertical bar: SD, n = 25.

상대적으로 생식력에 더 많은 에너지를 사용하고 있는 것으로 생각된다. 또한 봉선사천에 참갈겨니 개체군이 재도입되기 전 우점종으로 서식한 피라미 개체군과의 서식처 및 먹이 경쟁에 따른 결과의 일환으로 판단되나 이는 개체군간의 종간경쟁(Interspecific competition)에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

REFERENCES

- Anderson, R and S. Gutreuter(1983) Length, weight and associated structural indices. In: L. Nielsen and D. Johnson(Eds). American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 283-300.
- Anderson, R.O. and R.M. Neumann(1996) Length, weight, and associated structural indices, BR, Murphy and DW, Willis, editor. Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 447-482
- Bray, J.R. and J.T. Curtis(1957) An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. Ecological Monographs, 27(4): 325-349.
- Busacker, G.P., I.A. Adelman and E.M. Goolish(1990) Growth, in C, B, Schreck and P, B, Moyle, editors, Methods for fish biology. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA, 363-377.
- Byeon, H.K.(2011) The characteristics of fish fauna and population of *Zacco koreanus* in the Bongseonsa stream, Korea. Journal of Korean Nature 4(4): 255-262. (in Korean with English abstract)
- Byeon, H.K.(2013) The fish fauna changes and characteristics populations of *Zacco koreanus* in Cheonggye stream after the rehabilitation, Korea. Korean Journal of Environment Ecology 27(6): 695-703. (in Korean with English abstract)
- Byeon, H.K. and W.O. Lee(2006) The ichthyofauna and fish community in the lower course of the Imjin river. Korean Journal of Limnology 39(1): 32-40. (in Korean with English abstract)
- Carl, B.S. and M.M. Peter(1990) Methods for fish biology. American Fisheries Society, Maryland, USA, 684pp.
- Choi, J.K. and H.K. Byeon(2009) The fish fauna and community of Gwangneung arboretum. Korean Journal of Limnology 42(2): 145-152. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.K., C.R. Jang and H.K. Byeon(2011) The fish fauna and population of *Zacco koreanus* in the upper region of the Gapyeong stream. Korean Journal of Environment Ecology 25(1): 65-70. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.K., H.K. Byeon and H.K. Seok(2000) Studies on the dynamics of fish community in Wonju stream. The Korean Journal of Limnology 33(3): 274-281. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.S. and J.K. Choi(2005) Fish fauna and disturbance in Odaesan national park, Korea. The Korean Journal of Limnology 19(2): 177-187. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.S., S.C. Park, Y.S., Jang, K.Y. Lee and J.K. Choi(2006) Population dynamics of Korean chub (*Zacco koreanus*, Cyprinidae) in the upstream and downstream of lake Hoengseong. Korean Journal of Environment Ecology 20(4): 391-399. (in Korean with English abstract)
- Cummins, K.W.(1962) An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic water. American Midland Naturalist 67(2): 477-504.
- Delahunty, G. and V.L. de Vlaming(1980) Seasonal relationships of ovary weight, liver weight and fat stores with body weight in the goldfish, *Carassius auratus* (L.). Journal of Fish Biology 16: 5-13.
- Forestry Exp, The Government-General of Korea(1932) The general of Gwangneung experiment forest. Samsusa 101-103. (in Korean)
- Han, S.C., H.Y. Lee, E.W. Seo, J.H. Shim and J.E. Lee(2007) Fish fauna and weight-length relationships for 9 fish species in Andong reservoir. Korean Journal of Life Science 17(7): 937-943. (in Korean with English abstract)
- Hur, J.W., H.S. Kang and M.H. Jang(2011) Investigation on physical habitat condition and fish fauna in Dal stream of Han river basin. Korean Society of Environmental Engineering 33(8): 564-571. (in Korean with English abstract)
- Im, J.H., H.K. Byeon, J.E. Lee and Y.K. Lee(2010) Ecosystem of mountain stream change in the forest fire area. Korea Forest Research Institute 150pp. (in Korean)
- Jeon, S.R.(1980) Studies on The Distribution of Fresh-water Fishes from Korea. Ph.D Dissertation of Chungang University 14-49. (in Korean with English abstract)
- Kim, C.H., E.J. Kang, H. Yang, K.S. Kim and W.S. Choi(2012) Characteristics of fish fauna collected from near estuary of Seomjin river and population ecology. Korean Journal of Environment Biology 30(4): 319-327. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.S.(1997) Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korean. Ministry of Education 632pp. (in Korean)
- Kim, I.S. and J.Y. Park(2002) Freshwater Fishes of Korea. Kyohak 465pp. (in Korean)
- Kim, I.S., J.Y. Park and M.K. Oh(2003) Morphology and geographic variation of dark chub, *Zacco temminckii* (Cyprinidae) from Korea. Proceedings of 58th Annual Meeting of Korean Association of Biological Sciences 7: 128. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.S., M.K. Oh and K. Hosoya(2005) A new species of cyprinid fish, *Zacco koreanus* with redescription of *Z. temminckii* (Cyprinidae) from Korea. Korea Journal of Ichthyol 17(1): 1-7. (in Korean with English abstract)
- 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 515pp. (in Korean)

- Kim, S.J., M.S. Shin, J.K. Kim, J.Y. Lee, K.J. Jeong, B.Y. Ahn and B.C. Kim(2012) Oxygen fluctuation monitored with high frequency in a eutrophic urban stream (the Anyang stream) and the effect of weather condition. *Korean Journal of Limnology* 45(1): 34-41. (in Korean with English abstract)
- Kim, T.J., Y.S. Hong, S.H. Ahn and Y.H. Byun(2005) A study of trend of private arboretum in Korea. *Journal of Korean Institute Forest Recreation* 9(1): 49-59. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.H. and M.K. Bae(2007) Establishment of national park management policy with elimination of entrance fee. *Journal of Korean Forest Society* 103(2): 211-217. (in Korean with English abstract)
- Margalef, R.(1958) Information theory in ecology. *General Systematics* 3: 36-71.
- McNaughton, S.J.(1967) Relationship among functional properties of California Grassland. *Nature* 216: 168-169.
- Neat, F.C., F.A. Huntingford and M.M.C. Beveridge(1998) Fighting and assessment in male cichlid fish: the effects of asymmetries in gonadal state and body size. *Animal Behaviour* 55(4): 883-891.
- Nelson, J.S.(2006) *Fishes of the world* (4th ed.). John Wiley and Sons, New York ,601pp.
- Ney, J.J.(1993) Practical use of biological statistics. Pages 137~158 in C.C. Kohler and W.A. Hubert, editor. *Inlant fisheries management of North American Fisheries Society*, Bentheda, Maryland. USA.
- Park, J.H. and H.S. Ma(1999) Stream water quality monitoring in closed valley areas for preserving stream water quality of Pukhansan national park. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 2(2): 88-96. (in Korean with English abstract)
- Pielou, E.C.(1975) *Ecological Diversity*. John Wiley and Sons, New York, 165pp.
- Plafkin, J.L., M.T. Barbour, K.D. Porter, S.K. Gross and R.M. Hughes(1989) Rapid assessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish. EPA/444/4-89-001, Office of Water Regulations and Standards, U.S. EPA, Washington, DC, USA.
- Rutherford E.A., A.A. Echelle and O.E. maughan(1987) Changes in the fauna of the little river drainage, south-eastern Oklahoma. 1948-1955 to 1981-1982 : Test of the Hypothesis of environmental degradation. *Community and evolution ecology of north American stream fishes*. University of Oklahoma 17pp.
- Seo, J.W.(2005) Fish fauna and ecological characteristics of dark chub (*Zacco temminckii*) population in the mid-upper region of Gam stream. *The Koreaan Journal of Limnology* 38(2): 260-206. (in Korean with English abstract)
- Seo, J.W., I.S. Lim, H.J. Kim and H.K. Lee(2008) Status of fish inhabitation and distribution of eight abundant species in relation with water quality in streams and revers, Ulsan city. *Korean Journal of Limnology* 41(3): 283-293. (in Korean with English abstract)
- Shannon, C.E. and W. Weaver(1949) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana, 233pp.
- Song, H.B., M.S. Byeon, D.W. Kang, C.Y. Jang, J.S. Moon and H.K. Park(2012) Population structure of bluegill, *Lepomis macrochirus* in lakes of the Han river system, Korea. *The Korean Journal of Ichthyology* 24(4): 278-286. (in Korean with English abstract)