

연구논문

피라미 개체군의 length-weight relationship 및 condition factor(K)를 이용한 공지천수계의 생태적 진단

이광열* · 장하리**** · 윤영진*** · 박승철** · 김준철* · 이재용***** · 최재석*****

강원대학교 생명과학과*, 인하대학교 생명과학과**, 충남대학교 생명과학과***
충남발전연구원 환경생태연구부****, (주)자연과사람*****, 강원대학교 환경연구소*****

Ecological diagnosis of the Gongjicheon water system using length-weight
relationship and condition factor(K) of population of the *Zacco platypus*

Kwang-Yeol Lee* · Hara Jang**** · Youngjin Yun*** · Seungchul Park**
· Joon Chul Kim* · Jaeyong Lee***** · Jaeseok Choi*****

Dept. of Biological science, Kangwon National University*, Dept. of Biological science, Inha University**

Dept. of Biological science, Chungnam National University***

Dept. of Environment and ecology Research, Chungnam Development Institute****

Environmental Technological Institute, Nature and Human*****

Institute of Environmental Research, Kangwon National University*****

Abstract

The purpose of this study is to investigate the dynamics of the *Zacco platypus* population among streams in the Gongjicheon water system, Korea from December 2010 to October 2011. In this study, fish fauna was collected 27 Species belonged to 9 Families. The legal protection species, such as a natural monument and endangered species was not collected. Korean endemic species was collected 6 species including to *Z. koreanus*. The ratio of Korean endemic species was 22.6%, and it was lower than 51.3% that average of Korean endemic species in the Hangang water system. About these status, we considered that Gongjicheon water system had lost of the unique characteristics of the Hangang water system by the anthropogenic disturbances.

The result of analysis to length-weight relationship and condition factor(K) of *Z. platypus* population in the Gongjicheon water system, the regression coefficient value(b) to indication of growth degree of the population was 3.04 and the slope of the condition factor(K) to indication of corpulency had positive value, respectively. These results seems to be that the *Z. platypus* population is maintained to a little unstably. In addition, the values of the degree of growth and corpulence were very low than the other natural streams in the Hangang water system, so it

considered that the many artificially stress factors are occurred in this study area. These results are similar to Fish Assessment Index(FAI) in the assessment for health of aquatic ecosystem. Therefore, we are considered to require precise investigation and sustained monitoring for the restorations of stream ecosystem in the Gongjicheon water system.

Keywords : Regression coefficient, The slope of condition factor(K)

I. 서론

우리나라는 지형적인 특성 때문에 자연호수나 늪지는 드물고 대부분이 하천으로 형성되어 있는 것이 특징이다. 이렇게 형성된 하천들은 대형 댐과 보, 소형저수지 그리고 하구 둑 등에 의해 수생태계의 연속성이 단절되어 생물의 이동이 제한되고 이로 인하여 다양한 생물들의 생활사도 끊어지는 등 여러 가지 문제점들을 보여주고 있다(Yoon *et al.*, 2010). 특히 이러한 하천의 종적연속성의 단절은 하천 내 유사이동을 제한하여 하천 내 생물 서식처를 교란·훼손하여 생물들의 분포 패턴을 변화시키거나 특정 개체군의 “지역적 절멸”을 유발하는 등 수생태계의 형질 및 형태 변화를 야기하고 있는 실정이다(Rahel and Hubert, 1991; 최재석 등, 2003; 최재석 등, 2005; 최재석, 2005a, 2005b). 더욱이 어류 개체군들은 이동이 차단되어 특정지역에서 새로운 유전자 그룹을 형성하기도 하며, 또한 먹이원이 달라지면서 지역적으로 다른 성장 패턴을 보이는 등 다양한 생태패턴을 보이게 된다(최재석·최준길, 2005).

최근 도심하천은 과거 생활하수의 유입으로 인한 오염된 하천에서 벗어나 생태하천 복원으로 수질을 회복하여 청정하천에 가까운 하천으로 거듭나고 있는 실정이다. 그러나 이러한 생태하천 복원은 자연적인 요소보다는 인위적인 요소들이 가미되고 있어 생물·생태학적 측면을 매우 소홀히 여기고 있다. 더욱이 이런 생태적 홀대는 생물의 서식처를 훼손시키게 되고 결국에는 생물 다양성이 감소됨으로써 우리나라 하천의 고유성을 상실하게 되는 원인이 되고 있다. 이러한 고유성의 상실은 하천의 건강성을 상실한다는 의미로 해석할 수 있다.

공지천은 강원도 춘천시 동내면 사암리, 학곡리 그리고 거두리 등지에서 발원하여 의암호로 유입되는

대표적인 도심하천이며, 신춘천, 학곡천, 퇴계천, 거두천(후하천) 등의 지류하천이 있다. 공지천의 유로 길이는 약 6.7 km, 유역 면적은 약 53.7 km²(한국수자원공사, 2007)이며 북한강으로 유입되는 지류이지만, 공지천 하류인 북한강 수계에 건설된 의암호로 인해 북한강 수계의 다른 하천생태계와 단절된 상태이다. 또한 최근 많은 강우로 인해 많은 토사가 유입되어 하천 내 모래가 퇴적됨으로써 생물 서식처가 교란 및 잠식되고 있는 실정이다(조현길 등, 2007).

수생태계에서 생물군집은 자연적인 환경변화뿐만 아니라 인위적 교란에 민감하게 반응하기 때문에 생물군집의 분석을 통해 수생태계에 미치는 영향을 종합적으로 평가할 수 있다. 특히 어류는 수계생태계의 고차소비자로서 이동성이 강하고 환경변화에 민감하게 반응하므로 특정 어류개체군의 건강성을 통해 하천 및 호수생태계의 교란정도를 파악할 수 있다(장영수 등, 2007; 최재석 등, 2006; 허준욱 등, 2009; 고대근 등, 2012). 어류건강성을 평가하기 위한 간단한 기법으로서 어류 개체군의 length-weight relationship 및 condition factor의 분석은 하천 및 호수 등에서 어류 개체군 및 서식처 건강성, 산란 및 섭식능력과 다양한 수환경의 변화를 예측하기 위한 지표로 이용되고 있다(장영수 등, 2007; Anderson and Gutreuter, 1983; Busacker *et al.*, 1990; Ney, 1993). 따라서 본 연구에서는 어류개체군의 length-weight relationship 및 condition factor의 분석을 이용하여 해당 개체군의 건강성은 물론 해당 하천의 건강성을 파악하고, 생태하천 복원 정도를 이해하는데 활용하고자 한다.

피라미(*Zacco platypus*)는 잉어과(*Cyprinidae*) 피라미속(*Zacco*)에 속하는 1차 담수어로(김익수·박종영, 2002) 우리나라 하천의 전 수역에 분포하고 있으며 주로 하천보다는 호수에 더 잘 적응하는 것으로

알려져 있다(장영수 등, 2007). 식성은 잡식성으로 작은 치어나 수서곤충, 부착조류 등을 섭식하고(김익수, 1997; 윤희남, 2000) 인위적인 환경변화에 대한 내성이 매우 강한 어종이다(김익수 · 김환기, 1975; 최재석 · 김재구, 2004; 최준길 등, 2005). 그러므로 하천 내 서식지 교란과 훼손이 빈번한 도심하천의 건강성을 진단하는데 적합한 어종인 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 공지천수계에 서식하는 *Z. platypus* 개체군의 length-weight relationship 및 condition factor와 어류 서식지 특성 분석을 통하여 공지천수계의 생태학적 현황을 파악 하고자 하였다. 본 연구결과는 다른 도심하천의 건강성을 진단하고 평가함은 물론 생물서식지의 생태적 회복을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 조사 시기

어류 조사는 2010년 12월부터 2011년 10월까지 매

월 1회씩 수행 하였다.

2. 조사지점

어류 조사는 공지천 본류 3개 지점을 비롯하여 지류인 신촌천 6개 지점, 학곡천 5개 지점, 거두천(후하천) 3개 지점, 퇴계천 4개 지점으로 총 21개 지점에서 실시하였다(Figure 1).

3. 어류 조사 방법

어류의 채집은 족대 (망목 4×4 mm)와 투망(망목 5×5 mm)을 사용하여 조사하였으며, 정량적인 조사를 위해 족대는 40분, 투망은 14회를 기준으로 조사하였다. 채집된 어류는 10% 포르말린 액으로 고정하였으며 실험실로 운반하여 동정 및 계측을 실시하였다. 어류 동정은 국내에서 발표된 검색표 및 도감을 사용하였으며(최기철 등, 1990, 2002; 김익수, 1997; 김익수 · 강언중, 1993; 김익수 · 박종영, 2002; 김익수 등, 2005), 분류 체계는 Nelson(2006)의 분류 체계를 따랐고 종 배열은 제4차 전국자연환경조사

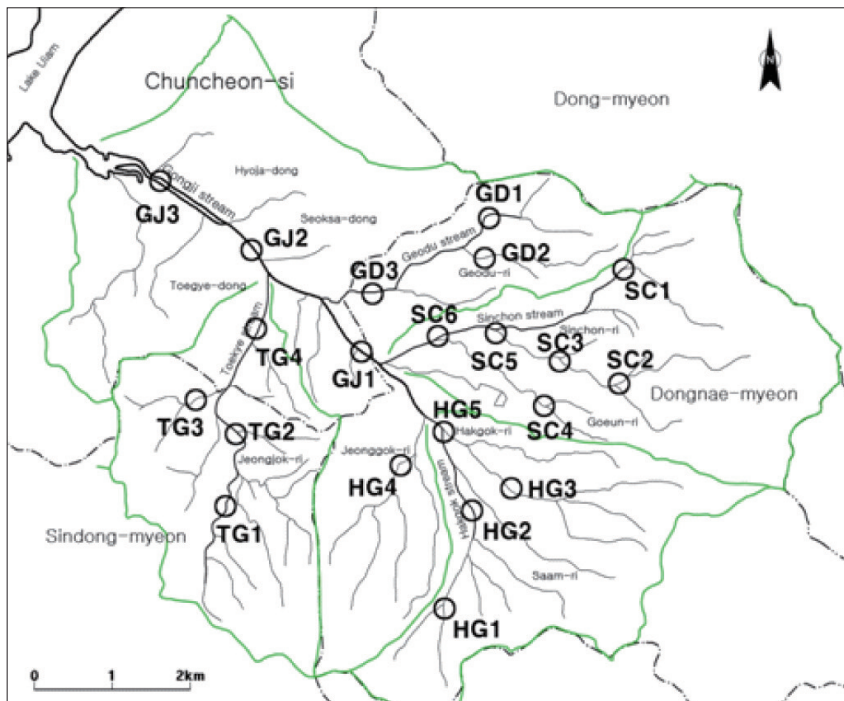


Figure 1. Map of study sites in Gongjicheon(GJ) as a main stream and its tributaries; Sinchoncheon(SC), Hakgokcheon(HK), Geoducheon(GD) and Toegyechon(TG)

지침(환경부, 2012)을 참고하였다.

4. 하상구조 조사

하상구조는 육안으로 직접 관찰 하였으며, Cummins(1962)의 방법을 변형한 제 4차 전국자연환경조사 지침(국립환경과학원, 2012)에 따라 구분하였다.

5 유량 측정

공지천 수계의 수리수문학적 특성을 분석하기 위하여 각 하천별로 유량을 측정하였다. 유량은 유속계(2100-TDX, Swoffer), 줄자, 수심계를 사용하여 면적·유속법을 사용하여 측정하였다(김치영 등, 2002). 면적·유속법이란 유수의 수면 폭, 일정 간격의 수심을 측정하여 유수 단면적을 산출하는 방법으로써 여러 측선에서 유속을 측정하여 평균유속을 구하여 계산하는 방법이다.

6. Length-weight relationship 분석

어류의 Length-weight relationship 분석은 체중에 대한 전장의 지수 함수적 관계로 표현된다. 이때 나타나는 성장곡선(비만도 곡선)의 회귀계수 값을 비교하여 각 개체군의 환경 적응도를 평가할 수 있다. 일반적으로 회귀계수(b) 값은 3.0을 기준으로 높으면 개체가 비만함을 보이고 반대로 낮으면 왜소해짐을 보이는 것으로 알려져 있다(Froese, 2006).

$$W = aTL^b \quad W: \text{Weight} \quad TL: \text{total length} \\ a: \text{constant}, b = \text{regression coefficient}$$

지수함수로 변환할 경우 위의 관계식($W=aTL^b$)은 직선식으로 나타낼 수 있다.

$$\text{Log } W = \text{Log } a + b \text{Log } TL, b: \text{Slope}, \text{Log } a: \text{constant.}$$

7 Condition factor(K)의 분석

Condition factor(K)는 체중을 전장의 세제곱 값으로 나누어 산출하며 어류의 비만화정도, 먹이 이용상태, 성장정도 등을 평가할 수 있다. 이때 나타나는 각 개체 condition factor(K)의 기율기 값이 양의 값을 보이면 비만화 경향을 나타내고, 음의 값을 보이

면 왜소화 경향을 나타낸다. 본 factor는 종 및 개체군 그리고 계절에 따라 상당한 변화를 보인다.

$$K = W/TL^3 \times 10^6 (n = 2) \\ (\text{Anderson and Neumann, 1996})$$

$$K = cTL + d \\ c, d: \text{constant}, c = \text{condition factor의 기율기}$$

III. 결과 및 고찰

1. 어류상 특징의 변화

공지천수계에서 채집된 어류는 총 9과 27종 42,690개체였다(Table. 1). 이 중 천연기념물 및 멸종위기종과 같은 법적보호종은 출현하지 않았다. 한국고유종은 참갈겨니(*Zacco koreanus*), 줄납자루(*Acheilognathus yamatsutae*), 물개(*Squalidus japonicus coreanus*), 돌마자(*Microphysogobio yaluensis*), 참종개(*Iksookimia koreensis*), 얼룩동사리(*Odontobutis interrupta*)로 6종이 채집되었다. 일반적으로 한국고유종의 출현비율은 하천의 고유한 어류상 특성을 반영하는 것으로 알려져 있다(전상린, 1980). 본 조사에서 출현한 어종 중 한국고유종의 비율은 22.2%로 한강수계 하천의 평균 고유종의 비율인 51.3%(전상린, 1994; 송호복 등, 1995; 남명모, 1997a, 1997b; 정규희·심재한, 1997; 남명모 등, 1998; 변화근, 1998; 전상린 등, 2002; 최재석·김재구, 2004; 이광열 등, 2006; 김상협 등, 2010; 고명훈 등, 2011; 최준길 등, 2011)보다 현저히 낮은 값을 보였다. 이는 공지천수계에 분포하던 기존의 고유종의 서식처가 교란 및 훼손되고 있음 의미하며, 일반적인 한강 중·상류 하천의 특징을 상실했음을 보여주는 결과라 생각된다. 이와 같은 결과는 본 하천에서 우리나라 고유종의 서식처들이 교란 받고 파괴되었음을 증명한 결과라 생각된다. 특히 과거 출현 했던 고유종인 새코미꾸리(*Koreocobitis rotundicaudata*), 통가리(*Liobagrus andersoni*), 미유기(*Silurus microdorsalis*), 꺾지(*Coreoperca herzi*) 등은 본 연구에서 출현하지 않았으며 이들 4종은 공지천수계에서 “지역적 절멸”이 되었을 가능성이 매우 높은 것으로 생각된다(강원녹색환경지원센터,

Table 1. Continued

Scientific Name	Common Name	Sites														Total								
		GD1	GD2	GD3	HG1	HG2	HG3	HG4	HG5	TG1	TG2	TG3	TG4	SC1	SC2		SC3	SC4	SC5	SC6	GI1	GI2	GI3	
Centrarchidae	검정우럭과																							
<i>Micropterus salmoides</i>	배스										8								44	4	4			60
Odontobutidae	동사리과																							
<i>Odontobutis interrupta</i>	얼룩동사리	180	4	32			5	20		121									24	6	10			402
Gobiidae	망둑어과																							
<i>Chaenogobius urolaenia</i>	꼭져구																							8
<i>Rhinogobius brunneus</i>	밀어			104					69		72					80			388	709	122			2,022
Number of Family		3	4	5	1	3	3	3	4	4	4	7	3	2	3	3	3	3	4	7	7	7	9	9
Number of species		5	7	11	2	4	4	4	8	7	5	13	4	4	5	5	5	9	9	16	18	21	27	27
Number of individual		520	1,792	620	1,540	694	660	1,998	1,920	1,972	909	1,855	1,596	1,370	2,308	544	2,647	3,020	5,337	8,678	5,718	46,286	46,286	46,286

GI: Gongjicheon, SC: Sinchoncheon, HK: Hakgokcheon, GD: Geoducheon and TG: Toegyechon

2011). 이는 본 하천이 매우 많은 스트레스로 인해 우리나라 하천의 특징을 상실했음을 보여주는 결과라 생각된다.

한편 외래도입종은 떡붕어(*Carassius cuvieri*)와 배스(*Micropterus salmoides*) 2종이 채집되었다. 특히 *M. salmoides*는 수생태계의 위해성으로 인하여 환경부에서 생태계교란동식물로 지정하여 관리하고 있는 어종이다. 일반적으로 *M. salmoides*와 *C. cuvieri*는 정수역을 선호하는 어종(김익수·박종영, 2002)으로 공지천 수계의 여러 지점에서 이와 같이 출현하는 것은 본 하천에 이들 정수어종이 선호하는 정수구간이 증가하고 유수구간이 감소하는 형질 및 형태의 변화가 있음을 예시하는 결과라 생각한다.

2. 수리수문학적 특성에 따른 어류 분포의 특징

공지천수계 주요 하천의 수리수문학적 특성을 비교해 보았다. 유역면적은 공지천 본류가 53.7 km²으로 가장 넓었으며, 그 다음으로 학곡천 14.4 km², 신촌천 12.2 km², 퇴계천 9.1 km², 거두천 4.6 km²의 순이었다. 유로연장도 공지천 본류가 6.7 km로 가장 길었으며, 다음은 신촌천 5.4 km, 퇴계천 5.3 km, 학곡천 5.1 km, 거두천 4.1 km의 순으로 나타났다. 한편 평균유량은 공지천 본류가 1,403 m³/sec로 가장 많았으며, 신촌천 0.578 m³/sec, 학곡천 0.559 m³/sec, 퇴계천 0.197 m³/sec 거두천 0.145 m³/sec로 측정되었다. 하상구조 조사 결과 공지천 본류는 주로 모래로 되어 있었으며, 일부 잔자갈, 자갈, 작은 돌, 큰 돌로 구성되어 있었다. 신촌천과 학곡천의 하상구조 또한 공지천과 유사하게 주로 모래로 되어 있었으며 상류 잔자갈, 자갈, 작은 돌, 큰돌, 암반이 일부 존재 하였다. 암반의 경우 하천 상류 지역에 주로 분포하였으며 하류로 갈수록 모래가 차지하는 비율이 높게 나타났다. 반면 퇴계천과 거두천 하상구조의 경우 모래가 차지하는 비율이 비교적 높긴 하지만 작은 돌, 자갈, 잔자갈이 비교적 고르게 분포하는 것으로 나타났다(Table 2). 일반적으로 하천에서 어류의 종수 및 개체수는 하천의 크기에 비례하거나 상류에서 하류로 갈수록 증가한다(최재석·김재구, 2004).

Table 2. Hydraulic-hydrological factor at four tributaries in the Gongjicheon water system

Stream	Channel length (km)	Catchment area (km ²)	Average of velocity (m ³ /sec)	Streambed structure S:G:P:C:B:R	Average (Number of species)	Average (Number of individual)
Gongjicheon	6.7	53.7	1.403	7:1:1:0.5:0.5	18 ± 2.52	6,597 ± 1,828.59
Sinchoncheon	5.8	12.2	0.578	6:1:1:1:0.5:0	5 ± 1.86	1,978 ± 915.39
Hakgokcheon	5.1	14.4	0.559	5:2:1:1:0.7:0.3	4 ± 2.19	1,362 ± 649.44
Toegycheon	5.3	9.1	0.197	3:1.5:2:2:0.5:1	8 ± 3.59	1,333 ± 684.05
Geoducheon	4.1	4.6	0.145	3:2:1.5:2:0.5:1	8 ± 3.06	977 ± 707.29

* Data source(Main channel length and catchment area): 한국하천정보시스템(<http://garam.kwater.or.kr>)

* Streambed structure: R: 1024 mm 이상, B: 1024~256 mm, C: 256~64 mm, P: 64~16 mm, G: 16~2 mm, S: 2~0.06 mm(국립환경과학원, 2012: Modify by Cummins, 1962)

공지천 수계의 각 하천별로 출현한 어종 및 개체수를 비교해보면 개체수의 경우 거두천에서 2,932개체, 퇴계천 5,332개체, 학곡천 6,812개체, 신촌천 6,812개체, 공지천 본류 19,733개체가 채집되어 하천의 크기에 따라 증가하는 일반적인 하천의 경향과 일치하는 것으로 나타났으나, 어종 수는 학곡천과 신촌천에서 가장 적은 9종이 채집되었으며, 거두천 13종, 퇴계천 15종, 공지천 본류 25종순으로 채집되어 하천의 크기에 비례하지 않는 결과를 보였다. 이는 비교적 규모가 큰 신촌천과 학곡천의 경우 하천 주변에 여러 가지 토목공사, 하천의 직강화, 보로 인한 어류 이동 장애 등의 교란이 지속되어 하천에 스트레스가 가중된 결과로 보이며, 이로 인해 하상 구조가 모래 위주로 변화되면서 어류 서식처가 단순화되었기 때문으로 생각된다. 반면 하천규모가 비교적 작은 퇴계천과 거두천의 경우 하천의 교란요인이 일부 있지만 신촌천과 학곡천에 비해 상대적으로 하천에 가해지는 스트레스가 적고, 어류의 서식처인 다양한 하상구조가 다른 하천에 비해 상대적으로 잘 보존되었기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 거두천과 퇴계천의 경우도 채집된 어류 대부분이 일부 지역에 국한되거나 일정한 종이 지속적으로 채집되는 것으로 보아 보로 인한 하천종적연속성에 문제가 있는 것으로 생각된다.

3. 공지천수계 피라미(*Z. platypus*)개체군의 분포

본 연구의 대상종인 *Z. platypus*는 공지천수계에 광범위하게 분포하는 우점종이다. 거두천, 신촌천,

학곡천 그리고 퇴계천의 상류지역에서는 서식하지 않거나 개체군 크기가 매우 작은 반면, 신촌천, 학곡천 하류 및 공지천 본류에서는 개체군의 크기가 비교적 커 본 종의 서식이 매우 활성화 된 것으로 보인다(Figure 2).

공지천수계 *Z. platypus*개체군의 전장분포는 12~165 mm(중앙값은 64 mm)로 나타났으며, 40~90 mm의 개체가 주로 채집된 것으로 확인되었다. 그리고 각 하천에서 채집된 *Z. platypus*의 전장범위를 보면, 공지천 본류의 전장분포는 12~165 mm(중앙값 65 mm), 거두천에서는 28~123 mm(중앙값 50.5 mm), 퇴계천에서는 37~70 mm(중앙값 58 mm), 신촌천에서는 16~158 mm(중앙값 71 mm), 학곡천에서는 15~142 mm(중앙값 42 mm)로 각각 나타났다(Figure 3). 이와 같이 공지천 본류의 개체군은 공지천수계의 개체군과 전장 분포 및 중앙값이 거의 유사한 값을 갖는 것으로 나타났다. 그리고 신촌천의 개체군은 공지천수계 개체군 보다 최대값은 낮게, 최소값과 중앙값은 높게 나타났으며 학곡천, 거두천 및 퇴계천의 개체군은 공지천수계개체군 보다 최소값은 높게, 최대값과 중앙값은 낮게 나타났다. 이와같이 본 종의 전장분포에 대한 최대값, 최소값 및 중앙값이 각 지류 별로 다른 것은 물리적인 환경요인이 다르기 때문인 것으로 생각되며, 각각의 지류의 서식환경 특징을 반영한 것이라 생각된다. 즉 하천의 유량이 풍부한 신촌천과 학곡천에서는 본 종의 산란 및 서식환경이 비교적 양호한 반면 하천의 유량이 적은 퇴계천과 거두천의 서식조건은 그리 양호한 편이 아

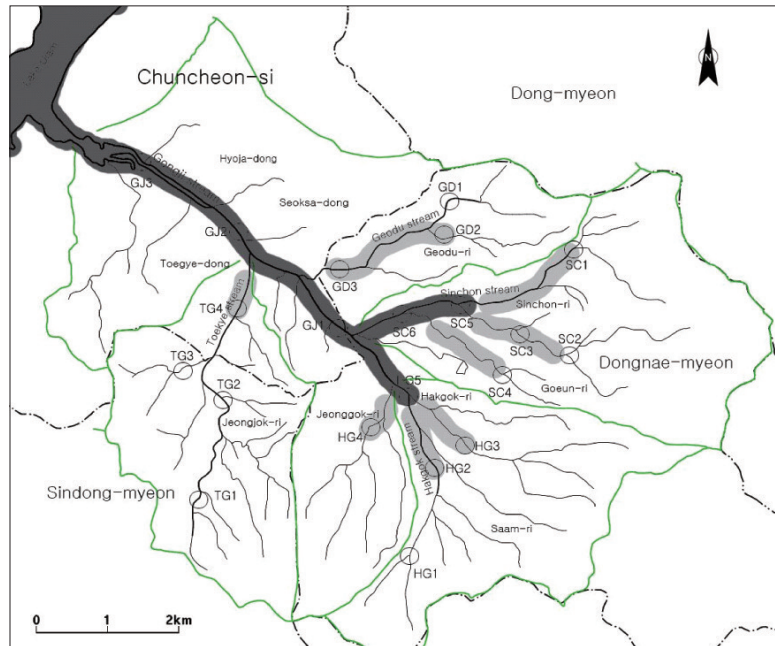


Figure 2. Distribution of the *Z. platypus* in the Gongjicheon water system. Dark gray and gray indicate high population area(GJ, SC and HG) and low population area(GD and TG), respectively(GJ: Gongjicheon, SC: Sinchoncheon, HK: Hakgokcheon, GD: Geoducheon and TG: Toegycheon)

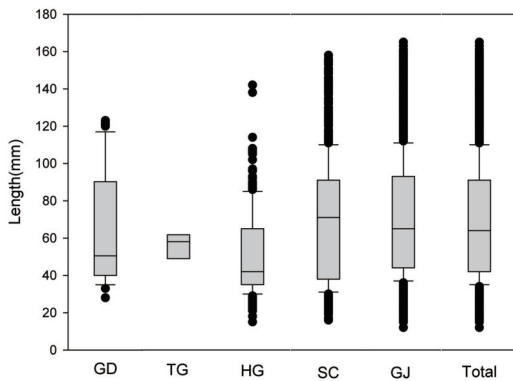


Figure 3. Extent of total length of the *Z. platypus* in the Gongjicheon water system(GJ: Gongjicheon, SC: Sinchoncheon, HK: Hakgokcheon, GD: Geoducheon and TG: Toegycheon)

닌 것으로 판단된다.

특히 퇴계천의 경우 다른 하천과는 다르게 본 종과 생태적 지위(ecological niche) 같고 서로 경쟁 관계에 있는 *Z. koreanus*가 채집되었다. 이와 같이 생태적 지위가 같은 종이 동일한 서식지에 서식할 경우, 경쟁배타의 원리에 의해 우세한 종이 경쟁종의 개체군 성장에 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Colin R.

Townsend *et al.*, 2008). 일반적으로 *Z. platypus*와 *Z. koreanus*가 동서할 경우 *Z. koreanus*가 경쟁에 밀려 상류로 이동하는 경향이 있는 것으로 알려져 있다(최기철, 1986). 그러나 제한된 서식처에 두 종이 서식할 때는 개체군이 큰 종에 의해 개체군이 작은 종이 영양을 받는다(윤희남, 2000). 따라서 보로 인해 서식처가 제한된 퇴계천에서는 *Z. koreanus*와의 중간 경쟁으로 인하여 본종의 전장분포 범위가 제한적으로 나타나게 된 것으로 생각된다.

3. Length-weight relationship 및 condition factor(K)에 의한 수생태계 평가

공지천수계 *Z. platypus*개체군의 length-weight relationship 및 condition factor(K)의 분석 결과는 다음과 같다(Figure 5). 개체군의 성장정도를 나타내는 회귀계수(b) 값은 3.04로 나타났으며, 비만화 정도를 나타내는 condition factor(K)값의 기울기는 양(+)의 0.0003의 값을 보여 본 수계의 *Z. platypus*개체군은 다소 불안정한 개체군을 유지하고 있는 것으로 보였다(Figure 4). 또한 월별로 개체군의 length-

weight relationship 및 condition factor(K)를 분석한 결과, 2011년 12월, 2012년 2월, 3월, 4월에는 다소 왜소화 경향을 보였으며 5월부터 점차 비만화가 높아지다가 8월에 가장 높게 나타났다. 그 후 9월, 10월에 다시 왜소화 경향을 보였으나 11월에 다소 회복되는 양상을 보였다. 이와 같이 공지천수계의 *Z. platypus* 개체군의 성장 및 비만화 정도가 계절별에 따라 역동성을 보이는 것은 우리나라와 같은 몬순 기후 후와 4계절이 뚜렷한 특징 때문에 나타난 결과라 생각된다. 즉, 겨울철 섭식이 원활하지 못해 4월까지에는 다소 왜소화 경향을 보였고, 봄철부터 섭식이 왕성해지면서 8월에 성장 및 비만화 정도가 가장 높게 나타난 것으로 생각된다. 한편 7~8월에는 몬순 기후의 특징인 장마와 집중호우로 발생하는 탁수 유입으로 인하여 어종의 시계감소, 유속 증가로 인한 먹이 생물의 씻김 현상, 토사유입으로 인하여 먹이 생물이 덮이는 현상에 의한 먹이 자원의 감소 및 섭식률 감

소(Berg, 1982; Berg and Northcote, 1985)로 9월과 10월에 *Z. platypus* 개체군이 왜소화 경향을 보이는 것으로 생각된다. 그러나 11월에 성장 및 비만화 정도가 회복되는 것은 장마 이후 하천이 안정화되면서 먹이 생물이 다시 증가하고 섭식이 원활해졌기 때문으로 판단된다(Figure 5).

한편 본 조사의 결과를 한강 수계의 인북천(인제군, 2008), 내린천, 홍청강, 평창강, 동강(강원도환경해출장소, 2004), 섬강(장영수 등, 2007)에 서식하는 *Z. platypus* 개체군과 비교해 보았다. 먼저 성장 정도를 나타내는 회귀계수(b)값은 인북천 3.14, 내린천 3.40, 홍천강 3.30, 평창강 3.40, 섬강 3.15, 동강 3.60, 탄천 3.29, 공지천수계 3.04로 본 하천이 가장 낮은 값을 보였다. 또한 condition factor(K)의 분석 결과 역시 length-weight relationship 분석 결과와 유사한 경향을 보였다(Figure 6). 이러한 이유는 공지천수계가 다른 하천과는 달리 도농 복합지

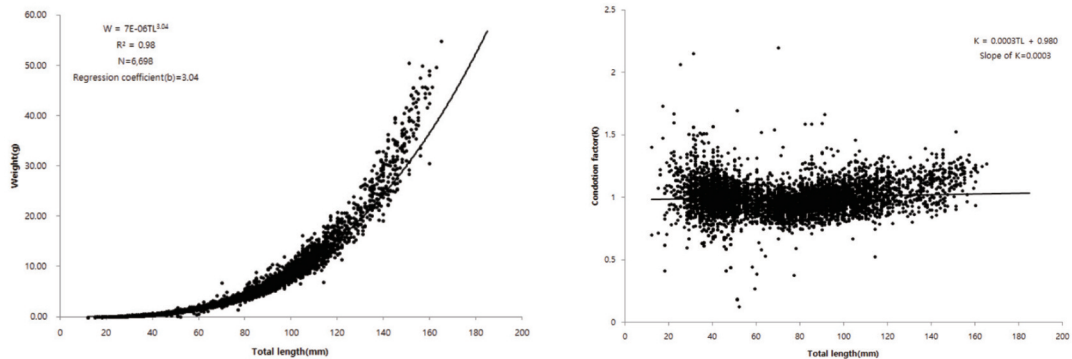


Figure 4. Length-weight relationship and condition factor(K) for the *Z. platypus* collected in the Gonggijeon water system

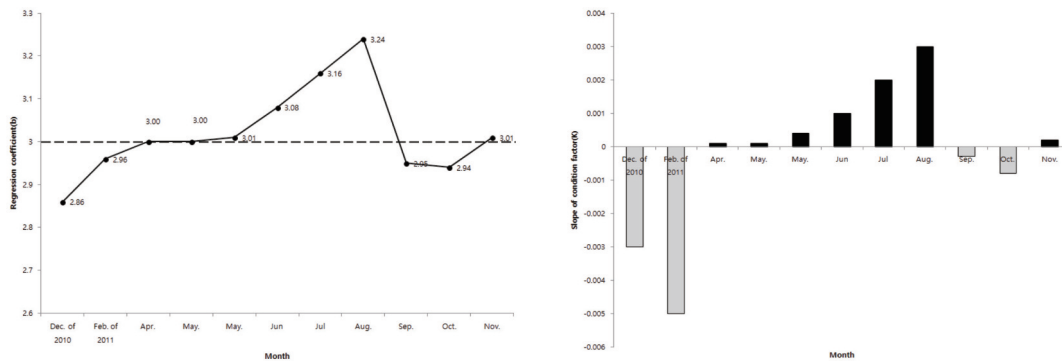


Figure 5. Comparison of regression coefficient of length-weight and condition factor(K) of the *Z. platypus* in the Gonggijeon water system from February, 2011 to November, 2011

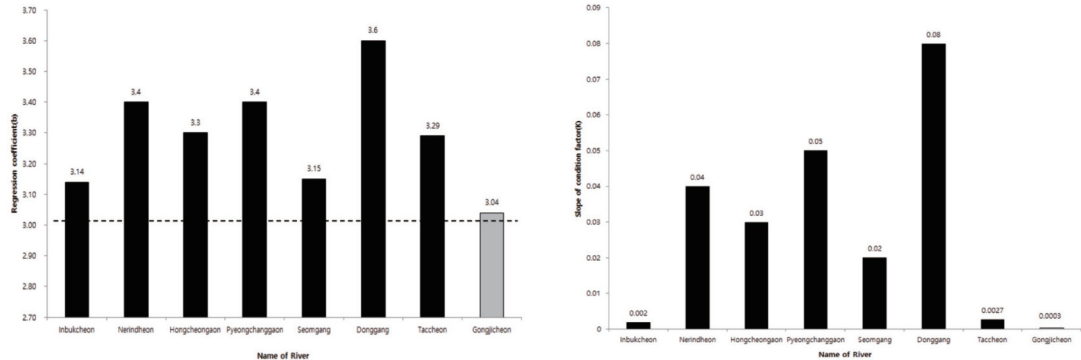


Figure 6. Comparison of regression coefficient of length-weight of the *Z. platypus* other streams in the Hangang water System

역에 위치해 있고, 농촌이 도시화 되면서 생활 오폐수와 인위적인 하천 공사로 인하여 수생태계에 교란이 있었음을 의미하는 것이라 할 수 있다. 특히 2011년의 공지천생태하천조성사업의 진행에 따른 하상의 인위적인 교란 및 장마로 인한 공지천의 모래퇴적(강원녹색환경지원센터, 2011)은 *Z. platypus* 및 여러 어종의 서식처를 파괴하거나 교란시켜 여러 개체군의 성장도와 비만도에 악영향을 주었을 것으로 생각된다. 따라서 *Z. platypus* 개체군이 물리적 환경변화에 내성이 강한 어종임에도 불구하고 성장 및 비만도가 다른 하천에 비해 낮게 나타난 것은 공지천 수계의 수생태계 건강성이 한강수계의 다른 하천에 비해 좋지 않음을 의미한다고 볼 수 있다.

이러한 결과는 수생태계건강성평가(국립환경과학원, 2011) 조사 결과와 유사한 것으로 나타났다. 수생태계건강성평가(국립환경과학원, 2011) 조사의 결과에 따르면 한강수계 지류하천 평균 어류생물지수(FAI)는 61.8로 '양호' 등급으로 나타났으나 공지천의 경우 59.4로 '보통' 등급으로 나타나 한강수계 지류하천의 평균 보다 낮은 값을 보였다. 뿐만 아니라 하천 건강성 평가에 중요한 지표가 되고 있는 내성종의 상대풍부도는 하천 생태계의 교란이 악화될수록 증가한다(안광국 등, 2001; 안광국 등, 2006). 수생태계건강성평가(2008)의 기준에 따라 공지천수계에서 내성종의 상대풍부도를 분석한 결과 56.5%로 나타났다. 이는 서식처의 교란 및 수질이 오염된 지역에서 내성종의 상대풍부도 범위인 50~72%(안광국 등,

2001)의 범주에 포함되는 값이다.

이러한 결과를 종합해 볼 때 공지천수계의 생태계 건강성은 모래의 유입, 하천의 직강화, 보 등의 물리적 환경변화와 각종 외부 요인으로 인한 수생태계 교란이 지속됨으로써 하천의 스트레스가 가중되고 있으며 이러한 결과는 어류생물지수(FAI) 및 *Z. platypus* 개체군의 성장 및 비만도가 낮게 나타나는 원인이 되며, 그 결과 한강수계의 다른 하천에 비해 수생태계 건강성이 좋지 않게 나타난 것으로 생각된다. 따라서 본 지역의 악화된 생태계를 복원하기 위해서는 교란 요인의 감소방안에 대한 연구가 지속되어야 할 것으로 생각된다.

IV. 결론

공지천수계 *Z. platypus* 개체군 변동을 살펴보기 위해 2010년 12월부터 2011년 10월까지 어류 조사를 실시한 결과 채집된 어류는 총 9과 27종이었다. 채집된 어류 중 천연기념물 및 멸종위기동물 등 법적보호종은 출현하지 않았으며, 한국고유종은 *Z. koreanus*를 비롯하여 6종이 채집되었다. 한국고유종의 비율은 한강수계의 평균 고유종의 출현 비율인 51.3%보다 낮은 22.6%로 나타났다. 이는 공지천수계가 한강수계의 고유한 특성을 잃고 인위적으로 교란되어 있다는 것을 반증하는 것이라 할 수 있다.

공지천 *Z. platypus* 개체군의 length-weight relationship 및 condition factor(K) 분석 결과 개체군의 성장계수(growth coefficient)를 나타내는

회귀계수(b)값은 3.04, 비만화 정도를 나타내는 condition factor(K)값의 기울기는 양(+)의 값으로 나타나 공지천 *Z. platypus* 개체군은 다소 불안정한 개체군을 유지하는 것으로 보인다. 더욱이 한강의 다른 수계에 비해 성장도 및 비만도 값이 현저히 낮게 나타나 본 하천에 많은 인위적인 스트레스 요인이 작용하고 있음을 반영하고 있다. 이러한 결과는 수생태 건강성평가의 어류생물지수(FAI)의 결과와 유사하였다. 그러므로 공지천수계의 생태계건강성은 한강수계의 다른 하천에 비해 좋지 않은 것으로 판단된다. 따라서 본 지역의 하천생태계 건강성 회복을 위해서 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

사 사

본 논문은 강원녹색환경지원센터와 춘천시의 연구비 지원에 의해서 이루어졌습니다. 본 연구 수행에 도움을 주신 모든 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- 강원도환경동해출장소, 2004, 강원도 토속어종 부화장 건립 타당성 조사 보고서, 20-83.
- 강원녹색지원센터, 2011, 공지천 수생태계복원 및 하천 종적연속성을 위한 연구, 춘천시, 27-148.
- 고대근, 한정호, 안광국, 2012, 인공호의 부영향화에 따른 피라미(*Zacco Platypus*) 개체군의 전장-체중 관계 및 비만도 지수, 한국하천호수학회지, 45(2), 174-189.
- 고명훈, 문신주, 방인철, 2011, 섬강의 어류군집 및 멸종위기종 꾸구리(*Gobiobotia macrocephala*)와 돌상어(*G. brevibarba*)의 서식현황, 한국하천호수학회지, 44(2), 144-154.
- 국립환경과학원, 2008, 수생태계 건강성 조사 및 평가 총괄(최종보고서)-총괄, 국립환경과학원, 80-83.
- 국립환경과학원, 2011, 수생태계 건강성 조사 및 평가 총괄(최종보고서)-한강대권역, 국립환경과학원, 235-480.
- 국립환경과학원, 2012, 제4차자연환경조사 지침, 환경부, 396-410.
- 김상엽, 김성원, 장창렬, Ady Sabana, 최준길, 2010, 평창강의 어류상과 군집구조, 한국생태학회지, 20(1), 163, -167.
- 김익수, 1997, 한국동식물도감, 제37권 동물편(담수어류), 교육부, 133-520.
- 김익수, 김환기, 1975, 전주천의 수질오염과 어류군집의 변화에 관한 연구, 한국육수학회지, 8, 7-14.
- 김익수, 강연중, 1993, 원색 한국어류도감, 아카데미서적, 서울, 477.
- 김익수, 박종영, 2002, 한국의 민물고기, 교학사, 15-453.
- 김익수, 최윤, 이충렬, 이용주, 김병직, 김지현, 2005, 원색한국어류대도감, 교학사, 104-443.
- 김치영, 김원, 이을래, 2002, 유속면적법에 필요한 유속측정 시간 산정, 대한토목학회, 11, 1629-1632.
- 남명모, 1997a, 가평천의 어류상과 군집구조, 한국육수학회지, 30(4), 357-366.
- 남명모, 1997b, 조종천의 어류상과 군집구조, 한국육수학회지, 30(4), 367-375.
- 남명모, 양홍준, 채병수, 강영훈, 1998, 내린천의 어류상과 군집구조, 한국어류학회지, 10(1), 61-66.
- 변화근, 1998, 섬강의 어류상과 군집구조, 상명대학교 기초과학연구소, 11, 1-10.
- 송호복, 권오길, 전상호, 김휘중, 조규송, 1995, 횡성 섬강 상류의 어류상, 한국육수학회지, 28(2), 225-232.
- 안광국, 정승현, 최신석, 2001, 생물보전지수(Index of Biological Integrity) 및 서식지 평가지수(Qualitative Habitat Evaluation Index)를 이용한 평창강의 수환경 평가, 한국하천호수학회지, 34(3), 153-165.
- 안광국, 이재연, 배대열, 김자연, 황순진, 원두희, 이재관, 감창수, 우리나라 주요하천 수계에 서 다변수모형을 이용한 생태학적 수환경 평

- 가, 한국물환경학회, 22(5), 796-804.
- 윤희남, 2000, 한국산 피라미속 어류의 서식특성 요인에 관하여, 상명대학교대학원 석사학위 청구논문, 1-80.
- 이광열, 장영수, 최재석, 2006, 평창강의 어류상 및 법적보호종의 서식 실태, 한국환경생태학회지, 20(3), 331-339.
- 인제군, 2008, 인북천 수질개선 대책 수립 연구용역, 인제군, 90-121.
- 장영수, 최재석, 이광열, 서진원, 김범철, 2007, 황성호에 분포하는 피라미(Pale chub, *Zacco platypus*) 개체군의 length-weight relationship 및 condition factor, 한국육수학회지, 40(3), 412-418.
- 전상린, 1980, 한국산담수어의 분포에 관하여, 중앙대학교 박사학위논문, 서울, 1-19.
- 전상린, 1994, 계방산 계류의 수환경 및 담수어류상, 한국환경생물학회지, 12(1), 43-51.
- 전상린, 변화근, 최정일, 2002, 동강의 어류군집에 대한 생태학적 연구, 한국하천호수학회지, 35(5), 350-358.
- 정규희, 심재한, 강원도 홍천 속사천과 계방천의 어류군집, 서식환경 및 생물다양성에 관한 연구, 한국환경생태학회지, 11(1), 100-110.
- 조현길, 한갑수, 최재석, 박정호, 이준석, 2007, 도시하천의 계절별 야생동물 서식 연구-춘천시 공지천을 대상으로-, 한국환경과학회지, 16(3), 27-285.
- 최기철, 1986, 강원도의 자연-담수어류, 강원도교육위원회, 61-64.
- 최기철, 전상린, 김익수, 손영목, 1990, 원색한국육수어도감, 향문사, 277.
- 최기철, 전상린, 김익수, 손영목, 2002, 원색 한국담수어도감, 향문사, 6-220.
- 최재석, 2005a, 청평호의 어류상 및 어류군집, 한국하천호수학회지, 38(1), 63-72.
- 최재석, 2005b, 춘천호의 어류상과 군집구조, 한국환경생물학회지, 23(2), 173-183.
- 최재석, 김재구, 2004, 홍천강의 어류상과 어류군집, 한국환경생물학회지, 18(3), 446-455.
- 최재석, 최준길, 2005, 오대산 국립공원의 어류상과 어류교란, 한국환경생태학회지, 177-187.
- 최재석, 박승철, 장영수, 이광열, 최준길, 2006, 황성호 상하류에 분포하는 참갈겨니(*Zacco koreanus*, Cyprinidae)의 개체군 동태, 한국환경생태학회지, 20(4), 391-399.
- 최재석, 이광열, 장영수, 고명훈, 권오길, 김범철, 2003, 소양호의 어류군집 동태, 한국어류학회지, 15(2), 95-104.
- 최준길, 최재석, 신현선, 박승철, 2005, 황성호 일대의 어류군집 동태, 한국육수학회지, 38(2), 188-195.
- 최준길, 김창렬, 변화근, 2011, 가평천 상류역의 어류상과 참갈겨니의 개체군 특징, 한국환경생태학회지, 25(1), 65-70.
- 한국수자원공사, 2007, 우리가람길라잡이, 29-30. <http://garam.kwater.or.kr>
- 허준욱, 박상영, 강신욱, 김정곤, 2009, 하천차수에 따른 금강수계 피라미(*Zacco platypus*)의 물리적 서식지 평가, 한국환경생물학회지, 27(4), 397-405.
- Anderson, R. O. and R. M. Neumann, 1996, Length, weight, and associated structural indices, in Murphy, B, R, and D, W, Willis, editor, Fisheries Techniques, 2nd edition, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 447-482.
- Anderson, R. O. and S. J. Gutreuter, 1983, Length weight and associated structural indices, in Johnson, L.A editor Fisheries techniques, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA, 283-300.
- Berg, L., 1982, The effect of exposure to short-term pulses of suspended sediment on the behavior of juvenile salmonid, in G. F., Hartman *et al.*, editors, Proceedings of the carnation creek workshop, a ten-year review, Department of Fisheries and

- Oceans, Pacific Biological Station, Nanaimo, British Columbia, 177-196.
- Berg, L., and T. G. Northcote, 1985, Changes in territorial, gill-flaring, and feeding behavior in juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) following short-term pulses of suspended sediment, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 42, 1410-1417.
- 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.
- Colin, R., Townsend, Michael Begon, John L., Harper, 2008, Essentials of ecology(Third edition), Blackwell Publishing, 183-216.
- 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, 477-504.
- Froese, R., 2006, Cube law, condition factor and weight-length relationships, history, meta-analysis and recommendations, Journal of Applied Ichthyology, 22, 241-253.
- Nelson, J. S., 2006, Fishes of the world(4rd, edition), Wiley, New York.
- Ney, J. J., 1993, Practical use of biological statistics, in Kphler, C. C., and W. A. Hubert, editor, Inland fisheries management of North American Fisheries Society, Bethesda, M. D., USA, 137-158.,
- Rahel, F. J., and W. A., Hubert, 1991, Fish assemblages and habitat gradients in a Rocky Mountain-Great Plains stream, biotic zonation and additive patterns of community change, Transactions of the American Fisheries Society, 120, 319-332.
- Yoon, J. D., M. H. Jang and G. J. Joo, 2010, Effect of flooding on fish assemblages in small streams in South Korea, Limnology, 12, 197-203.