

홍천강의 서식처 유형별 어류상과 피라미 개체군의 특징^{1a}

이황구² · 장창렬² · 최준길^{2*}

The Characteristics of Fish Fauna by Habitat Type and Population of *Zacco platypus* in the Hongcheon River^{1a}

Hwang-Goo Lee², Chang-Ryeol Jang², Jun-Kil Choi^{2*}

요약

2008년 8월부터 2009년 6월까지 홍천강의 8개 미소서식처 유형에 따른 어류상과 피라미 개체군의 특징을 조사하였다. 조사기간 동안 채집된 어류는 총 6과 21종 1,033개체가 확인되었다. 출현한 어종 중 한국고유종은 *Acheilognathus signifer*, *Microphysogobio longidorsalis*, *Pseudopungtungia tenuicorpa*, *Squalidus gracilis majimae*, *Zacco koreanus*, *Iksookimia koreensis*, *Silurus microdorsalis*, *Liobagrus andersoni*, *Coreoperca herzi*, *Odontobutis interrupta*, *O. platycephala* 등 총 13종(61.9%)으로 확인되었으며, 우점종은 *Z. koreanus*, 아우점종은 *Z. platypus*로 조사되었다. 서식처 유형별 우점종은 셋강, 낙차형 웅덩이, 급여울에서 *Z. platypus*, 개방형 하도습지, 평여울, 사행형 웅덩이, 거석형 웅덩이에서 *Z. koreanus*, 댐형 웅덩이에서 *Microphysogobio yaluensis*, 폐쇄형 하도습지에서 *Rhynchocypris oxycephalus*가 우점하였다. *Z. platypus*의 전장-체중 상관도의 회귀계수 b값이 3.27의 값으로 나타났고, 주성분 분석 결과 홍천강은 크게 2개의 그룹으로 구분되었다. 홍천강의 서식처 유형별 유사도 분석 결과 개방형 하도습지와 사행형 웅덩이가 66.2%로 가장 유사한 것으로 나타났으며, 셋강과 폐쇄형 하도습지가 32.1%로 가장 대조적으로 분석되었다.

주요어: 전장-체중 상관관계, 유사도분석, 주성분분석

ABSTRACT

The fish fauna and population characteristics of *Zacco platypus* at the 9 habitat types in the Hongcheon River were investigated from August, 2009 to April, 2010. The collected species during the surveyed period were 21 species belong to 6 families. Korea endemic species were *Acheilognathus signifer*, *Microphysogobio longidorsalis*, *Pseudopungtungia tenuicorpa*, *Squalidus gracilis majimae*, *Zacco koreanus*, *Iksookimia koreensis*, *Silurus microdorsalis*, *Liobagrus andersoni*, *Coreoperca herzi*, *Odontobutis interrupta*, and *Odontobutis platycephala* which showed 61.9% ratio of total species. Dominant species was *Z. koreanus*, and subdominant species was *Z. platypus*. Dominant species according to habitat types were *Z. platypus*(in side channel, substrate type pool, and riffle), *Z. koreanus*(channel connected pool, run, meander type pool, and rock type pool), *M. yaluensis*(dam type pool) and *Rhynchocypris oxycephalus*(channel unconnected pool). Length-weight relationship in the population of *Z. platypus* was 3.27 in regression coefficient(b). Principal component analysis was classified as 2 groups. Bray-curtis cluster analysis indicated that the channel connected

1 접수 2013년 1월 29일, 수정(1차: 2013년 3월 2일, 2차: 2013년 3월 7일), 게재확정 2013년 3월 8일

Received 29 January 2013; Revised(1st: 2 March 2013, 2nd: 7 March 2013); Accepted 8 March 2013

2 상지대학교 생명과학과 Dept. of Biological Science, Sangji Univ., 83 Sangidae-gil, Wonju-si, Gangwon-do(220-702), Korea
a 이 논문은 한국건설기술연구원 에코리버21 과제의 지원 및 2010년도 상지대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

* 교신저자 Corresponding author(jkilchoi@sangji.ac.kr)

pool and meander type pool showed the most similar values(66.2%), whereas side channel and channel unconnected pool exhibited the most distance values(32.1%).

KEY WORDS: LENGTH-WEIGHT RELATIONSHIP, CLUSTER ANALYSIS, PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS

서론

우리나라의 하천은 도시화 및 산업화가 시작된 1960년대 이후 생물의 서식환경이 크게 훼손되었으며, 특히 인구 밀집지역을 지나가는 도심하천의 수질오염과 하천 정비사업, 복개, 골재채취를 위한 하상준설, 고수부지, 개발유량의 증축을 위한 수중보, 수로의 채널화 등에 의해 자연 상태의 서식 조건의 훼손 정도가 높은 실정이다(Park and Lee, 2008). 이러한 하천 개발은 수질의 자정능력을 상실하게 하고 수질 오염을 가속화시켜 결국에는 하천에 서식하고 있는 수생동물의 다양성을 현저하게 감소시키게 된다. 최근에는 이와 같은 이유로 자연형 하천에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 인공적이고 획일적으로 정비된 하천을 원래의 자연스러운 하천상태로 되돌리고자 하는 사회적, 기술적 대안들이 다각적으로 제시되고 시험 및 적용되고 있다(Choi *et al.*, 2011). 그러나 아직까지도 국내에서 이루어지는 대부분의 자연형 하천복원사업은 하천주변 토지의 주차장, 자전거도로, 체육시설 등의 도시기반시설을 목적으로 하여 하천의 과도한 공원화와 조경화가 이루어지는 경향이 있다(Park *et al.*, 2009). 담수어류는 호수나 하천의 수중 생태계에서 중요한 위치를 차지하고 있는 동물군으로 인간생활과 밀접한 관계를 가지고 있으며, 인위적 간섭에 의한 환경 변화는 하천생태계의 어류상을 변화시키는 가장 큰 요인이라 할 수 있다(Rutherford *et al.*, 1987).

과거 서식처 유형별 어류군집에 대한 연구는 갑천, 탄천, 양화천을 대상으로 Lee *et al.*(2009), Choi *et al.*(2011), Lee *et al.*(2012)에 의해서 이루어졌으며, 홍천강의 어류상에 대한 연구는 Choi(1986), Byeon(1988), Yang *et al.*(1991), Choi and Kim(2004)에 의해서 연구되었다. Choi(1986)는 홍천군 내 각 읍면단위의 어류의 분포, Byeon(1988)은 홍천강 어류의 미분포 군집상, Yang *et al.*(1991)은 홍천강 상류 수역의 추계 어류상, Choi and Kim(2004)은 홍천강 수계 전반에 관한 어류의 분포상에 관하여 연구하였다. 본 연구 하천인 홍천강은 강원도 홍천군 서석면 생곡리에서 발원하여 춘천시 남면 가정리에서 북한강과 합류하는 한강의 지류로 총 연장은 약 120 km에 달하며, 유량이 풍부한 하천이다(Yang *et al.*, 1991).

홍천강 유역은 대부분이 산지 혹은 농경지로 구성되어 있으며, 일부 구간에서는 주택지와 공장지대를 통과한다. 또한 홍천강 유역은 레저시설과 유원지가 곳곳에 위치하고 있으며, 2001년 수해로 인하여 하상 토목 공사가 여러 장소에서 이루어져 수환경의 변화와 하천생태계의 적지 않은 교란이 발생했다. 이러한 하천생태계의 지속적인 교란은 환경변화에 내성이 높은 종들이 우점하게 되어 결국에는 어류군집의 변화를 가져오게 된다. 따라서 환경변화에 적응력이 높은 지표종을 대상으로 개체군의 생육특성을 분석하는 것이 필요하며, 본 연구의 서식처 유형별로 모두 출현하고 있는 피라미를 대상으로 홍천강의 개체군 연구에 사용하고자 한다.

본 연구는 홍천강의 서식처 유형별 9개 지점을 대상으로 어류상 및 어류군집의 생태적 특성을 분석하고, 피라미 개체군의 생육특성을 밝혀, 우리나라의 하천 복원 및 생물서식처 조성시 필요한 기초자료를 제공하고자 수행되었다.

연구방법

1. 조사지점 및 시기

1) 조사지점

조사지점은 각 서식처 유형을 달리하는 총 9개의 조사지점을 선정하였으며, 각 조사지점의 행정구역 및 서식처 유형별 GPS(WGS) 좌표는 Table 1, Figure 1과 같다.

2) 조사시기

현장조사 기간은 2009년 8월부터 2010년 4월까지 총 3회에 걸쳐 실시하였으며, 각 조사시기는 다음과 같다.

- 1차 조사 : 2009년 08월 06일 ~ 07일
- 2차 조사 : 2009년 10월 21일 ~ 22일
- 3차 조사 : 2010년 04월 08일 ~ 09일

2. 조사방법

1) 어류의 채집 및 분류

어류의 채집은 정량조사를 위하여 투망(5mm×5mm)과 족대(4mm×4mm)를 각각 15회, 40분간 실시하였다. 채집된 어류

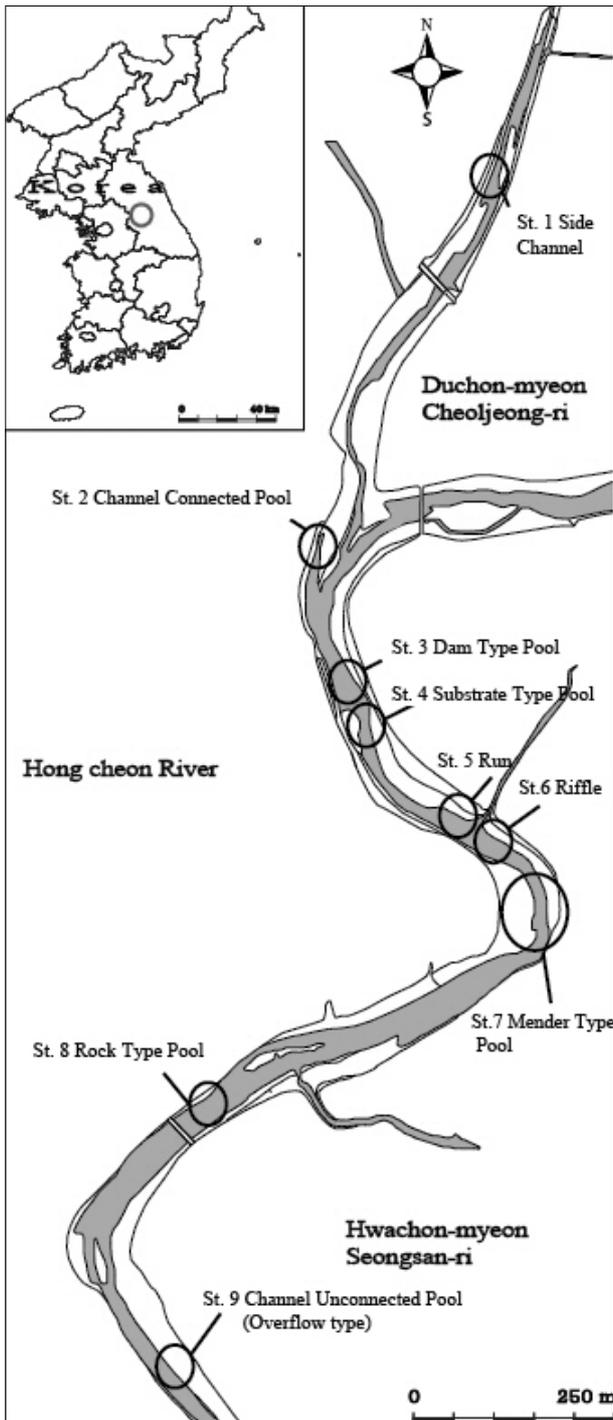


Figure 1. The map showing the study sites in the Hongcheon River, Korea

는 현장에서 동정 후 대부분 방류하였고, 일부 세밀한 동정을 요하는 개체만 10% Formalin 용액으로 고정한 후 실험실로 운반하였다. 어류의 동정은 국내에서 발표된 검색표(Kim, 1997; Kim and Park, 2002; Kim *et al.*, 2005)를 이용

하였고, 분류체계는 Nelson(2006)을 따랐다.

2) 미소서식처 구분

하천복원 기술개발연구원의 기준(Ecoriver21, 2009)을 따라 샛강(Side channel, St. 1), 개방형 하도습지(Channel connected pool, St. 2), 댐형 웅덩이(Dam type pool, St. 3), 낙차형 웅덩이(Substrate type pool, St. 4), 평여울(Run, St. 5), 급여울(Riffle, St. 6), 사행형 웅덩이(Meander type pool, St. 7), 거석형 웅덩이(Rock Type Pool, St. 8), 폐쇄형 하도습지(Channel unconnected pool, St. 9)로 구분하였다.

3) 서식처의 물리·화학적 특성분석

서식처내 물리·화학적 특성분석은 현장조사와 실험실 분석으로 구분하였다. 수심, 유속, 하상구조는 2009년 8월에 현장에서 조사하였고, 이 중 수심 및 유속은 조사지점별로 1m의 간격을 두고 횡단 측량을 실시하였다. 수심은 Total Station(탑콘 DT-209P)을 이용하여 실시하였고, 유속은 Flowmeter Potable FLO-MATE(2000)을 이용하였다. 하상 구조물의 계측 및 분류는 Cummins(1962)의 방법을 적용하여 boulder, cobble, pebble, gravel, silt/sand의 5단계로 구분하여 상대적인 구성비율을 측정하였다. 화학적 특성은 총 3차례에 걸쳐 현장에서 수온, pH, EC, DO 등을 Hach-HQ40d를 이용하여 측정하였으며, 실험실에서는 SS, BOD, COD, T-N, T-P 등을 수질공정시험법에 준하여 분석하였다.

4) 군집분석

군집분석은 각 조사지점에서 출현한 종과 개체수를 기준으로 우점도(McNaughton, 1967), 다양도(Shannon-Weaver, 1949), 균등도(Pielou, 1966), 풍부도(Margalef, 1958)를 산출하였다.

5) 전장-체중 상관관계

서식처 유형별로 출현한 피라미(*Zacco platypus*)를 대상으로 전장-체중 상관관계를 이용한 피라미 개체군의 전장-체중 상관도와 비만도 지수를 분석하였다. 어류의 전장-체중 상관도와 비만도 지수는 어류의 건강상태 및 생식능력의 정도를 파악할 수 있으며, 서식처등급, 수질, 먹이 이용능력 등의 다양한 정보를 제공하는 지표로 사용된다(Anderson and Gutreuter, 1983; Busacker *et al.*, 1990; Ney, 1993). 전장-체중 상관도(Length-weight relationship)는 Anderson and Gutreuter(1983)의 $W = aTL^b$ ($W = \text{weight}$, $TL = \text{Total length}$, $a, b = \text{parameter}$)를 따랐으며, 비만도 지수(Condition factor, K)는 Anderson and Neumann(1996)의 $K = W/TL^3$ ($W = \text{weight}$, $TL = \text{Total length}$)을 적용하였다.

Table 1. Habitat type and GPS at each site in the Hongcheon River, Korea

Sites	Prefecture	GPS(WGS)	Type
St. 1	Cheoljeong-ri, Duchon-myeon, Hongcheon-gun, Gangwon-do, Korea	N 37°48'37.4" E 127°59'41.7"	Side Channel
St. 2	Cheoljeong-ri, Duchon-myeon, Hongcheon-gun, Gangwon-do, Korea	N 37°47'56.4" E 127°59'29.2"	Channel Connected Pool
St. 3	Cheoljeong-ri, Duchon-myeon, Hongcheon-gun, Gangwon-do, Korea	N 37°47'42.4" E 127°59'22.1"	Dam Type Pool
St. 4	Cheoljeong-ri, Duchon-myeon, Hongcheon-gun, Gangwon-do, Korea	N 37°47'47.4" E 127°59'32.9"	Substrate Type Pool
St. 5	Cheoljeong-ri, Duchon-myeon, Hongcheon-gun, Gangwon-do, Korea	N 37°47'30.8" E 127°59'46.3"	Run
St. 6	Cheoljeong-ri, Duchon-myeon, Hongcheon-gun, Gangwon-do, Korea	N 37°47'34.3" E 127°59'39.3"	Riffle
St. 7	Cheoljeong-ri, Duchon-myeon, Hongcheon-gun, Gangwon-do, Korea	N 37°47'22.9" E 127°59'46.3"	Meander Type Pool
St. 8	Seongsan-ri, Hwachon-myeon, Hongcheon-gun, Gangwon-do, Korea	N 37°47'14.6" E 127°59'16.2"	Rock Type Pool
St. 9	Seongsan-ri, Hwachon-myeon, Hongcheon-gun, Gangwon-do, Korea	N 37°46'41.5" E 127°59'14.2"	Channel Unconnected Pool

6) 통계분석

BioDiversity Pro(Version 2)를 이용하여 조사지점별 유사성을 분류하고자 유사도(Bray and Curtis, 1957) 분석을 실시하였으며, Group linkage method는 Ward(1963)와 Ward and Hook(1963)의 방법을 따랐다. 주성분 분석(Principal Components Analysis)은 PC-ORD(Version 5)를 이용하여 Kaiser(1958, 1961)의 방법을 따랐으며, 서식처 유형들 간의 관계를 분석하였다. 어종의 약명에서 속명은 첫 글자, 종명은 앞에서 3글자만 이용하여 표기하였다

결과 및 고찰

1. 조사지 개황

북한강으로 합류하는 홍천강의 중·상류 구간 중 약 4.5km를 서식처 유형별 9개 지점으로 나누어 실시하였다. 물리적 수환경 분석 결과 유속은 평여울(St. 5)과 급여울(St. 6)에서 100~150m로 가장 넓으며, 사행형웅덩이(St. 7)에서 60~80m로 비교적 좁은 것으로 확인되었다. 수심은 1~119cm로 서식처 유형별 차이가 크게 나타났다. 평균 유속은 개방형 하도습지(St. 2)에서 0.07m/sec로 가장 느리고, 낙차형 웅덩이(St. 4)에서 2.16m/sec로 가장 빠른 것으로 확인되었다. 하상구조는 평여울, 급여울, 거석형 웅덩이(St. 8)에서 비교적 다양한 것으로 조사되었으며, 댐형 웅덩이(St. 3)와 낙차형 웅덩이는 상대적으로 모래(sand)가 높은 비율을 차지하고 있었다. 홍천강의 서식처 유형 중 급여울 지점은 다른 서식처 유형과 비교하여 유폭이 넓고 수심이 낮으며, 유속이 비교적 빠르고 하상구조가 가장 다양한 것으로 조사되

었다(Table 2). 서식처 유형별 평균 수온은 12.4(±0.81)~26.7(±0.42)로 나타났으며, pH는 7.5~8.8로 어류가 서식하기에 적합한 상태를 유지하고 있었다. 용존산소(DO)는 9.5~13.1mgL⁻¹로 서식처에 관계없이 높게 나타났다. 전기전도도(EC)는 86.9~121.4ms/cm로 셋강(St. 1)에서 가장 높게 나타났는데, 이는 유역토지가 농경지의 비율이 높았기 때문이며, 그 외의 서식처 유형은 대부분 유사한 전기전도도를 유지하였다. 부유물질(SS)은 0.4~5.6mgL⁻¹로 전기전도도와 마찬가지로 셋강에서 비교적 높은 상태를 나타냈으며, 다른 서식처 유형보다 유기물의 유입량이 높은 것으로 나타났다. BOD는 0.1~3.2mgL⁻¹로 서식처 유형별 다소 차이를 나타냈으며, 수질환경기준 매우 좋음(I a)~보통(III)의 등급을 유지하였다. COD는 0~18.6mgL⁻¹로 낙차형 웅덩이에서 가장 높은 것으로 확인되었다. 총질소(T-N)는 0.1

Table 2. Physical factor of the surveyed each site in the Hongcheon River from August 2009 to April 2010

Sites	River width (m)	Water depth (cm)	Water current (m/sec)	Bottom Structure				
				*B	C	P	G	S
St. 1	70~80	9~15	-	1	6	2	2	1
St. 2	70~100	1~87	0.07	2	4	3	3	1
St. 3	80~100	15~106	0.35	1	2	2	2	5
St. 4	80~100	47~119	2.16	1	2	2	2	5
St. 5	100~150	13~50	0.16	1	2	2	2	3
St. 6	100~150	4~54	1.16	2	2	3	2	1
St. 7	60~80	1~84	0.40	1	1	4	3	1
St. 8	80~100	4~36	0.29	1	2	3	2	2
St. 9	80~100	8~85	-	2	4	2	2	2

*B: Boulder, >256 mm, C: Cobble, 64~256 mm, P: Pebble, 16~64 mm, G: Gravel, 2~16 mm, S: Sand, <2mm = by Cummins(1962)

Table 3. Environmental factors of the surveyed each site in the Hongcheon River from August 2009 to April 2010

Sites	WT (°C)	pH	EC (ms/cm)	DO (mg L-1)	SS (mg L-1)	BOD (mg L-1)	COD (mg L-1)	T-N (mg L-1)	T-P (mg L-1)
St. 1	13.0~27.0	7.5~8.1	118.3~121.4	9.7~12.4	0.8~5.6	0.4~2.2	0~4.2	0.6~1.1	0.003~0.04
St. 2	11.3~26.6	7.6~7.8	93.6~121.3	9.8~12.3	0.8~4.4	0.5~0.9	0~4.4	0.3~1.7	0~0.03
St. 3	12.0~27.4	7.6~7.8	88.3~105.8	9.8~12.3	0.4~1.6	0.4~2.4	1.2~5.0	0.3~1.7	0~0.02
St. 4	12.1~27.3	7.6~8.6	87.8~107.3	9.8~13.1	0.6~3.2	0.5~1.5	0~18.6	0.2~1.7	0~0.01
St. 5	12.4~26.5	7.6~8.6	88.1~107.2	9.7~12.5	0.4~3.2	0.1~1.6	0~3.2	0.1~1.8	0.003~0.02
St. 6	12.1~26.4	7.6~8.7	88.4~107.6	9.5~12.2	0.8~3.2	0.5~3.2	1.6~2.8	0.3~1.7	0.003~0.02
St. 7	12.2~26.4	7.7~8.8	88.3~107.2	9.6~10.9	1.2~1.6	0.2~1.5	1.6~3.2	0.2~1.6	0.007~0.01
St. 8	12.5~26.3	7.7~8.8	89.3~108.6	9.6~11.9	0.8~3.2	0.5~0.8	2.4~4.8	1.2~2.1	0.02~0.03
St. 9	14.2~26.4	7.7~8.8	86.9~108.4	9.7~13	2.0~12	0.3~3.1	1.6~5.4	0.7~2.2	0.02~0.03

WT: Water Temperature, DO: Dissolved Oxygen, pH: Potential of Hydrogen, SS: Suspended Solid, BOD: Biochemical Oxygen Demand, COD: Chemical Oxygen Demand, T-N: Total Nitrogen, T-P: Total Phosphorus, EC: Electric Conductivity

~2.2mgL⁻¹로 서식처 유형별 비교적 유사하게 나타났으며, 총인(T-P)은 0~0.04mgL⁻¹로 낮은 상태를 유지하고 있었다. 홍천강의 서식처 유형별 수질 분석 결과 셋강에서 유기물 함량이 다소 높은 것으로 나타났으며, 중·상류 유역의 특성상 대부분 유사한 수질환경을 유지하고 있는 것으로 분석되었다(Table 3).

2. 어류상

홍천강의 전 조사지점에서 채집된 어종은 총 6과 21종 1,033개체가 조사되었다(Table 4). 서식처 유형별 출현 종수는 셋강(t. 1)에서 3과 10종 125개체, 개방형 하도습지(St. 2)에서 3과 10종 310개체, 댐형 웅덩이(St. 3)에서 3과 9종

Table 4. A list and individual number of collected fish at each site in the Hongcheon River from August 2009 to April 2010

Species	Sites									Total	R.A.	Remarks	
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9				
Cyprinidae													
<i>Carassius auratus</i>							1				1	0.1	
<i>Acheilognathus signifer</i>							2				2	0.2	E, e
<i>Coreoleuciscus splendendus</i>	5	1		1			2	3	1		13	1.3	E
<i>Hemibarbus longirostris</i>	2	3	4	1			4	2	3	9	28	2.7	
<i>Microphysogobio longidorsalis</i>			4	1	6	4	11	3			29	2.7	E
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	5	40	54	1	19		6			1	126	12.2	E
<i>Pseudogobio esocinus</i>	5	13	9		2	4				6	39	3.8	
<i>Pseudopungtungia tenuicarpa</i>		1									1	0.1	E, e
<i>Pungtungia herzi</i>	4	8	5	5	3	9	12	10		6	62	6.0	
<i>Squalidus gracilis majimae</i>										4	4	0.4	E
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	1									12	13	1.3	
<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>				5					1		6	0.6	
<i>Zacco platypus</i>	78	42	20	22	10	27	7	8	3		217	21.0	
<i>Zacco koreanus</i>	13	199	8	14	20	1	141	47			443	42.9	E
Cobitidae													
<i>Iksookimia koreensis</i>	11	2	3		4	6					26	2.5	E
Siluridae													
<i>Silurus microdorsalis</i>		1					1				2	0.2	E
Amblycipitidae													
<i>Liobagrus andersoni</i>							2				2	0.2	E
Centropomidae													
<i>Coreoperca herzi</i>				1	2	2	2	2			9	0.9	E
<i>Siniperca scherzeri</i>								2	1		3	0.3	
Odontobutidae													
<i>Odontobutis interrupta</i>							1		2		3	0.3	E
<i>Odontobutis platycephala</i>	1		2		1						4	0.4	E
No. of family	3	3	3	2	4	5	3	2	3		6		
No. of species	10	10	9	9	9	11	11	9	9		21		
No. of individual	125	310	109	51	67	62	188	77	44		1,033		

E : Korea endemic species, e : Endangered species, R.A. : Relative abundance(%)

109개체, 낙차형 웅덩이(St. 4)에서 2과 9종 51개체, 평여울(St. 5)에서 4과 9종 67개체, 급여울(St. 6)에서 5과 11종 62개체, 사행형 웅덩이(St. 7)에서 3과 11종 188개체, 거석형 웅덩이(St. 8)에서 2과 9종 77개체, 폐쇄형 하도습지(St. 9)에서 3과 9종 44개체가 확인되었다. 조사지점 중 급여울과 사행형 웅덩이에서 11종으로 가장 많은 종이 출현하였지만 홍천강의 서식처 유형별 종수는 9~11종으로 유사한 종수를 나타내었다. 홍천강은 하천 특성상 하상구조가 다양하고 여울이 발달한 하천으로 출현어종의 대부분이 여울을 선호하는 종들로 구성되었으며, 수초대 및 수변식생대의 부족으로 정수역 어종은 상대적으로 빈약한 출현양상을 나타냈다. 서식처 유형별 출현종은 하천 규모, 수질, 수심, 유속, 수량, 하상구조 등의 물리적인 환경과 이화학적인 수환경의 차이가 좌우하는 것으로 알려져 있으나(Lee *et al.*, 2012), 홍천강은 서식처 유형별 물리·화학적 차이가 크지 않았으며, 하상구조가 비교적 다양한 미소서식처가 발달하였기 때문에 유사한 종구성을 나타내었다. 현재 서식처 유형별 어류상이 연구된 하천의 어류 출현양상을 살펴보면, 갑천(Lee *et al.*, 2009)은 징검여울에서 가장 높고, 폐쇄형 웅덩이에서 가장 낮았으며, 탄천(Choi *et al.*, 2011)은 사행형 웅덩이, 낙차형 웅덩이, 폐쇄형 하도습지에서 가장 높고, 급여울에서 가장 낮은 것으로 나타났다. 양화천(Lee *et al.*, 2012)은 탄천과 마찬가지로 낙차형 웅덩이에서 가장 높고, 급여울에서 가장 낮은 것으로 나타났으나 갑천과는 차이를 나타냈다. 즉, 서식처 유형별 어류상의 분포는 대상하천의 물리·화학적 및 주변의 수환경 요소가 어류상을 결정짓는 주요 요인으로 작용하며, 우리나라 어류의 분포 특성상 지역 및 수계별 어류상의 차이 역시 크게 좌우하였다.

분류군별 출현종은 잉어과(Cyprinidae)에서 16종(66.7%)으로 가장 높게 출현하였으며, 꺾지과(Centropomidae), 동사리과(Odontobutidae)에서 각각 2종(9.5%), 미꾸리과(Cobitidae), 메기과(Siluridae), 통가리과(Amblycipitidae)에서 각각 1종(4.8%)이 조사되었다(Figure 2).

출현어종 중 한국고유종은 묵납자루(*Acheilognathus signifer*), 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*), 배가사리(*Microphysogobio longidorsalis*), 돌마자(*M. yaluensis*), 가는돌고기(*Pseudopungtungia tenuicarpa*), 긴몰개(*Squalidus gracilis majimae*), 참갈겨니(*Zacco koreanus*), 참중개(*Iksookimia koreensis*), 미유기(*Silurus microdorsalis*), 통가리(*Liobagrus andersoni*), 꺾지(*Coreoperca herzi*), 얼룩동사리(*Odontobutis interrupta*), 동사리(*O. platycephala*) 등 총 13종(61.9%)으로 확인되었다. 국내 하천 수계에서 나타나는 한국고유종의 출현 빈도는 평균 28.8%로 알려져 있으며(Kim *et al.*, 2005), 본 연구에서 우리나라 하천의 평균 고유종 빈도보다 매우 높은 고유성을 유지하였다. 법적보호종은 멸종위기야생동물 II급

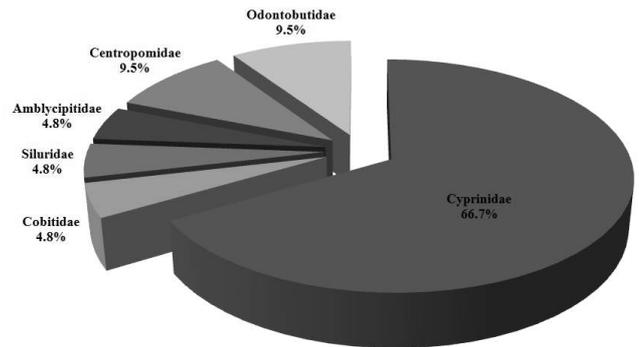


Figure 2. Percentage of family of collected fish in the Hongcheon River from August 2009 to April 2010

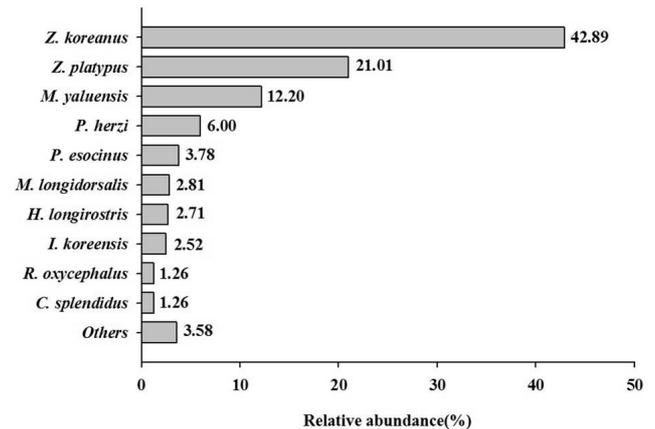


Figure 3. Relative abundance of collected fish at 9 sites in the Hongcheon River from August 2009 to April 2010

인 묵납자루와 가는돌고기 2종(9.5%)이 확인되었다.

홍천강에서 출현한 어종 중 개체수 비율이 가장 높게 나타난 어종은 참갈겨니로 443개체(42.89%)가 확인되었고, 그 다음으로는 피라미 217개체(21.01%), 돌마자 126개체(12.20%) 등의 순으로 나타났다. 서식처 유형별로는 피라미와 돌고기(*Pungtungia herzi*)가 전 조사지점에서 확인되었고, 참갈겨니와 참마자(*Hemibarbus longirostris*)가 8개 지점, 돌마자가 7개 지점에서 확인되었다. 개체수 구성비가 1.0% 미만인 어종으로는 붕어(*Carassius auratus*), 가는돌고기, 묵납자루 등을 포함하여 총 11종으로 확인되었다(Figure 3).

3. 어류상의 변화

홍천강에 대한 어류상 조사는 Choi(1986), Byeon(1988), Yang *et al.*(1991), Choi and Kim(2004)에 의해 연구되었

Table 5. Comparison of ichthyofauna based on previous references in the Hongcheon River

Species	Choi 1986	Byeon 1988	Yang <i>et al.</i> 1991	Choi and Kim 2004	Present study 2009
Petromyzontidae					
<i>Lethenteron reissneri</i>	●				
Anguillidae					
<i>Anguilla japonica</i>				●	
Cyprinidae					
<i>Cyprinus carpio</i>	●			●	
<i>Carassius auratus</i>	●	●	●	●	●
<i>Carassius cuvieri</i>				●	
<i>Rhodeus uyekii</i>				●	
<i>Rhodeus notatus</i>				●	
<i>Acheilognathus signifer</i>	●	●	●	●	●
<i>Acheilognathus korensis</i>		●			
<i>Acheilognathus yamatsutae</i>	●		●	●	
<i>Acheilognathus rhombeus</i>				●	
<i>Acheilognathus chamkaensis</i>				●	
<i>Pseudorasbora parva</i>	●			●	
<i>Pungtungia herzi</i>	●	●	●	●	●
<i>Pseudopungtungia tenuicarpa</i>	●			●	●
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>		●	●	●	●
<i>Ladislavia taczanowskii</i>	●			●	
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>				●	
<i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i>	●			●	
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	●		●	●	●
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>	●			●	
<i>Hemibarbus mylodon</i>	●			●	
<i>Hemibarbus labeo</i>	●			●	
<i>Hemibarbus longirostris</i>	●	●	●	●	●
<i>Pseudogobio esocinus</i>	●	●	●	●	●
<i>Gobiobotia macrocephala</i>	●		●	●	●
<i>Gobiobotia brevibarba</i>	●	●		●	●
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	●	●	●	●	●
<i>Microphysogobio longidorsalis</i>	●	●	●	●	●
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	●	●	●	●	●
<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	●			●	
<i>Zacco temminckii</i>	●	●	●	●	●
<i>Zacco koreanus</i>	●				●
<i>Zacco platypus</i>	●	●	●	●	●
<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>	●	●		●	●
<i>Erythroculter erythropterus</i>				●	
Baliforidae					
<i>Orthrias nudus</i>	●	●		●	●
Cobitidae					
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	●	●	●	●	
<i>Iksookimia korensis</i>	●	●	●	●	●
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>	●	●	●	●	
Siluridae					
<i>Silurus asotus</i>	●	●	●	●	
<i>Silurus microdorsalis</i>	●	●		●	●
Bagridae					
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	●			●	
<i>Pseudobagrus koreanus</i>	●	●	●	●	
<i>Leiocassis ussuriensis</i>	●			●	
Amblycipitidae					
<i>Liobagrus andersoni</i>	●	●	●	●	●
Cottidae					
<i>Cottus koreanus</i>	●			●	
Centropomidae					
<i>Siniperca scherzeri</i>	●	●		●	●
<i>Coreoperca herzi</i>	●	●	●	●	●
Odontobutidae					
<i>Odontobutis platycephala</i>	●	●	●	●	●
<i>Odontobutis interrupta</i>			●	●	●
Gobiidae					
<i>Gymnogobius urotaenia</i>				●	
<i>Rhinogobius giurinus</i>				●	
<i>Rhinogobius brunneus</i>	●	●	●	●	
Centrarchidae					
<i>Lepomis macrochirus</i>				●	
<i>Micropterus salmoides</i>				●	
No. of Family	10	8	8	11	7
No. of Species	41	28	24	52	24

다(Table 5). Choi(1986)는 홍천군 내 각 읍면단위의 어류의 분포를 나타낸 반면 조사지점의 정확한 위치는 밝히지 않았다. Byeon(1988)은 홍천강 전 수역을 대상으로 조사를 하였으나 조사시기가 9월과 10월 두 차례에 걸쳐 실시되었다. Yang *et al.*(1991)은 어류의 활동이 점차 감소하는 시기인 가을철(10월)에 한정되어 조사되었고, 조사지역 또한 홍천읍을 중심으로 홍천강 중·상류에 국한되어 홍천강 전반에 관한 어류상을 나타내지는 못하였다. Choi and Kim(2004)은 홍천강을 전반적으로 조사하였으며, 계절별 조사를 통하여 어류상과 어류군집을 나타내었다. 지금까지 홍천강에서 기록된 종은 총 12과 55종이었다. 과거의 어류상과 비교해보면 Choi(1986)에 의해서는 10과 41종, Byeon(1988)은 8과 28종, Yang *et al.*(1991)은 8과 24종, Choi and Kim(2004)은 11과 52종이 출현하였으며, 본 조사에서는 7과 24종이 조사되었다. 과거의 기록과 비교해보면 과거에는 출현하였으나 본 조사에서 출현하지 않은 종은 다목장어(*Lempetra reissneri*), 뱀장어(*Aguilla japonica*), 잉어(*Cyprinus carpio*) 등을 포함하여 총 33종이었다. 본 조사에서 이들 종이 출현하지 않은 것은 과거의 조사지역과 본 조사지역이 일치하지 않아 확인되지 않았거나 도로공사, 하상정비, 제방축조 등의 각종 하천공사로 인해 수환경이 교란되었기 때문이며, 특히 본 조사시 홍천강의 중·상류 구간 중 약 4.5km의 국소적인 구간만을 대상으로 조사를 실시하였기 때문에 종수의 차이가 나타난 것으로 판단된다. 또한 본 조사에서 처음으로 출현한 종은 참갈겨니 1종이었으나 본 종은 과거에는 갈겨니(*Zacco temminckii*)로 동정되었지만 최근에 참갈겨니로 분류되었다(Kim *et al.*, 2005).

4. 우점종 및 군집분석

홍천강의 서식처 유형별 우점종과 아우점종을 분석한 결과 전체 구간에서 참갈겨니가 우점종으로 확인되었으며, 피라미가 아우점하였다(Table 6). 참갈겨니는 물이 맑고 하천

중·상류의 물의 흐름이 비교적 완만한 곳에서 서식하는 특성을 가지고 있어 유속이 완만한 홍천강의 대부분의 조사지점에서 참갈겨니가 서식하기 적합한 것으로 조사되었다. 서식처 유형별 우점종은 셋강, 낙차형 웅덩이, 급여울에서 피라미, 개방형 하도습지, 평여울, 사행형 웅덩이, 거석형 웅덩이에서 참갈겨니, 댐형 웅덩이에서 돌마자, 폐쇄형 하도습지에서 버들치가 우점종으로 확인되었다. 이중 셋강과 개방형 하도습지에서 우점율이 상대적으로 높게 나타났는데 이는 유속이 없거나 느린 정수역 구간에서 우점종에 속하는 치어가 높게 출현하였기 때문이다. 아우점종으로는 셋강, 낙차형 웅덩이에서 참갈겨니, 개방형 하도습지, 댐형 웅덩이에서 피라미, 평여울에서 돌마자, 급여울, 사행형 웅덩이, 거석형 웅덩이에서 돌고기, 폐쇄형 하도습지에서 참마자가 아우점하고 있는 것으로 조사되었다. 대부분의 서식처 유형에서 참갈겨니와 피라미가 경쟁하며 서식하고 있는 것으로 확인되었으며, 폐쇄형 하도습지에서 우점 및 아우점한 버들치와 참마자는 본류의 범람으로 인하여 유입된 것으로 판단된다. 홍천강의 서식처 유형별 군집분석 결과 우점도지수는 0.48(St. 9)~0.81(St. 7), 다양도지수는 1.06(St. 7)~1.94(St. 9)로 서식처 유형별 다소 불안정한 군집양상을 나타내고 있었다. 폐쇄형 하도습지에서 가장 안정된 군집구조를 나타내고 있었으며, 상대적으로 사행형 웅덩이에서 가장 불안정한 군집구조를 유지하고 있는 것으로 확인되었다. 균등도지수는 0.44(St. 7)~0.88(St. 9)로 폐쇄형 하도습지에서 출현종이 가장 균등하게 분포하고 있는 것으로 나타났으며, 풍부도지수는 1.57(St. 2)~2.42(St. 6)로 급여울에서 개체수에 비하여 종풍부성이 가장 높은 것으로 분석되었다. Lee *et al.*(2012)에 의하면 급여울은 빠른 유속 및 얇은 수심과 하상구조의 단순화 등으로 인해 다양한 어류가 서식하기에 부적합하여 우점율이 높고 특정종만 서식할 수 있는 서식처 특성을 나타내는 것으로 알려져 있으나 본 연구에서는 급여울에서 개체수는 상대적으로 빈약하나 출현종이 다양하고, 우점종의 우점율(8.7%)이 낮게 나타나 우점율 및 군집지수

Table 6. Dominant, sub-dominant species, and community indices at each site in the Hongcheon River from August 2009 to April 2010

Sites	Dominant species	Sub-dominant species	DI	H'	E	RI
St. 1	<i>Zacco platypus</i> (62.4%)	<i>Zacco koreanus</i> (10.4%)	0.73	1.38	0.60	1.86
St. 2	<i>Zacco koreanus</i> (64.2%)	<i>Zacco platypus</i> (13.5%)	0.78	1.18	0.51	1.57
St. 3	<i>Microphysogobio yaluensis</i> (49.5%)	<i>Zacco platypus</i> (18.3%)	0.68	1.61	0.73	1.71
St. 4	<i>Zacco platypus</i> (43.1%)	<i>Zacco koreanus</i> (27.5%)	0.71	1.56	0.71	2.03
St. 5	<i>Zacco koreanus</i> (29.9%)	<i>Microphysogobio yaluensis</i> (28.4%)	0.58	1.80	0.82	1.90
St. 6	<i>Zacco platypus</i> (8.7%)	<i>Pungtungia herzi</i> (2.9%)	0.58	1.86	0.78	2.42
St. 7	<i>Zacco koreanus</i> (45.5%)	<i>Pungtungia herzi</i> (3.9%)	0.81	1.06	0.44	1.91
St. 8	<i>Zacco koreanus</i> (15.2%)	<i>Pungtungia herzi</i> (3.2%)	0.74	1.36	0.62	1.84
St. 9	<i>Rhynchocypris oxycephalus</i> (3.9%)	<i>Hemibarbus longirostris</i> (2.9%)	0.48	1.94	0.88	2.11

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

의 변동은 지역별 하천에 따른 차이를 보였다. 또한 국내에서 발표된 서식처 유형별 어류상에 대한 논문(Lee *et al.*, 2009; Choi *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2012)의 서식처에 따른 우점종 및 군집지수는 하천별 차이가 있었으며, 서식처 유형 보다는 조사하천 구간의 지역적 특이성이 더욱 높았지만 이는 좀 더 다양한 하천의 조사결과와의 비교가 필요하다.

5. 전장-체중 상관관계

홍천강의 전 서식처 유형에서 출현한 피라미를 지표종으로 선정하여 본 종의 생육상태를 파악하고자 전장-체중 상관도와 비만도 지수를 분석하였다(Figure 4). 일반적으로 전장-체중 상관도의 회귀계수 b 값은 3.0을 기준으로 개체군의 길이에 비하여 비대한지 아닌지를 나타낸다(Han *et al.*, 2007). 조사지점별 채집된 피라미는 전장 8cm 이상의 성체를 이용하여 각 조사시기마다 30마리씩 선정하여 분석하였다. 홍천강의 서식처 유형별 피라미의 전장-체중 상관도를 분석한 결과, 회귀계수 b 값이 3.27로 양호한 값을 나타내었으며, 회귀계수 b 값이 3.0보다 높게 나타난 것으로 보아 조사지역의 피라미 개체군은 비교적 안정적인 생육상태를 유지하고 있는 것으로 확인되었다. 또한 전장-체중 상관도 분석과 함께 피라미 개체군의 비만도 지수를 산출하였다. 비만도 지수는 어류에 필요한 풍부한 먹이원의 유무와 먹이원을 이용한 에너지의 축적량을 나타내는 지수이다(Seo, 2005). 홍천강의 서식처 유형별 비만도 지수의 분석 결과 기울기가 양의 값인 0.0022로 안정적인 개체군을 형성하고 있는 것으로 분석되었다. 도심하천인 탄천(Choi *et al.*, 2011)을 대상으로 분석한 피라미 개체군의 회귀계수 b 값은

3.29, 비만도 기울기 값은 0.0027로 홍천강 보다 전장-체중 상관도와 비만도 지수가 다소 높은 것으로 나타났는데, 이는 탄천이 홍천강에 비해 유기물량이 풍부하여 피라미 생육에 양호한 환경을 제공하였기 때문이다.

6. 통계적 분석 및 비교

1) 유사도 분석

출현종에 따른 유사도 분석 결과 개방형 하도습지(CCP)와 사행형 웅덩이(MTP)가 66.2%로 유사성이 가장 높은 것으로 확인되었으며, 다음으로 댐형 웅덩이(DTP)와 평여울(Run)이 56.8%, 낙차형 웅덩이(STP)와 급여울(Riffle)이 56.6%로 분석되었다(Figure 5). 결과적으로 서식처 유형별로 크게 두개의 그룹으로 구분이 되었으며, A그룹은 급여울, 낙차형 웅덩이, 평여울, 댐형웅덩이, B그룹은 사행형 웅덩이, 개방형 웅덩이, 거석형 웅덩이로 구분되었다. A그룹은 서식처 유형별 유속이 비교적 빠른 여울부 및 낙차의 특성이 나타나는 유수역의 서식처들로 구분되었으며, B그룹은 유속이 비교적 완만하여 물의 흐름이 느린 특성을 나타내는 서식처들로 구분되었다. 셋강(SC)과 폐쇄형 하도습지(CUP)는 32.1%로 유사도가 가장 낮은 것으로 분석되었으며, 다른 7개의 서식처 유형과는 50%이하의 유사성이 나타나 A 또는 B그룹으로 구분이 되지 못하였다. 셋강과 폐쇄형 하도습지의 경우 다른 서식처 유형들과 비교하였을 때, 유속이 거의 없는 정수역의 특성을 나타내고 있었기 때문이다. 서식처 유형별 유사도를 분석한 탄천(Choi *et al.*, 2011)은 폐쇄형 하도습지와 낙차형 웅덩이가 65.9%, 양화천(Lee *et al.*, 2012)은 폐쇄형 하도습지와 개방형 하도습지가

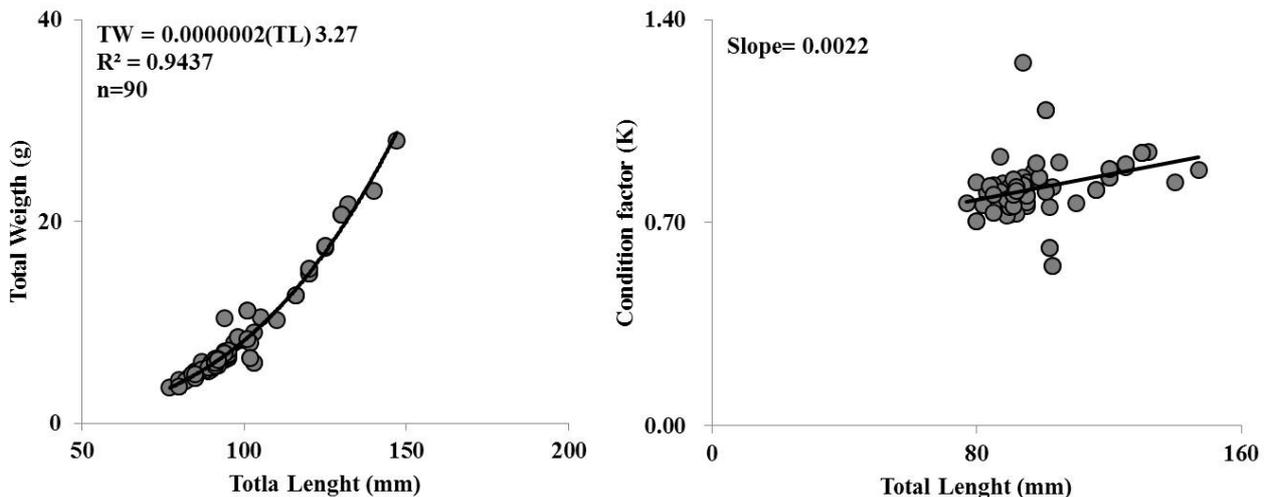


Figure 4. Length-weight relationship and condition factor of collected *Zacco platypus* population collected in the Hongcheon River from August 2009 to April 2010

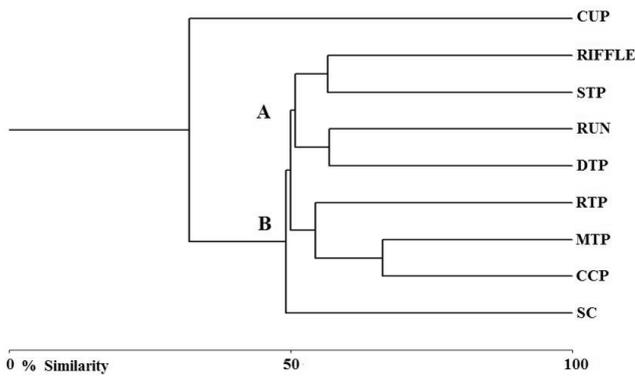


Figure 5. Cluster analysis diagram between the 9 sampling sites in the Hongcheon River from August 2009 to April 2010(SC: Side channel, CCP: Channel connected pool, DTP: Dam type pool, STP: Substrate type pool, Run: Run, Riffle: Riffle, MTP: Meander type pool, RTP: Rock Type Pool, CUP: Channel unconnected pool)

68.1%로 가장 유사성이 높은 것으로 나타나 홍천강의 유사도 분석 결과와는 다소 차이를 나타냈으나 폐쇄형 하도습지와 개방형 하도습지가 하천별 유사도에 있어 높은 유사성을 나타내고 있었다.

2) 주성분 분석

홍천강의 서식처 유형별 주성분 분석 결과 크게 2개의 그룹으로 구분되었으며, 2개의 축(Axis)은 각각 24.26%, 22.66%의 고유값으로 나타나 총 고유값 46.92%로 분석되었다(Figure 6). Axis 1에서는 사행형 웅덩이(MTP)와 상관성이 가장 높은 것으로 분석되었으며, Axis 2는 폐쇄형 하도습지(CUP)와 상관성이 높게 나타나 각 지점들과 어류들을 위치시켰다. Axis 1과 상관성이 가장 높게 나타난 사행형 웅덩이의 서식처 유형은 붕어(*C. aur*), 묵납자루(*A. sig*)와 같이 유속이 다소 느리고, 수초대 및 수변부가 제공된 서식처 유형과 상관성이 매우 높게 나타났으며, 낙차형 웅덩이(STP)와 급여울(Riffle)의 서식처 유형은 배가사리(*M. lon*), 꺾지(*C. her*), 참갈겨니(*Z. kor*), 쉬리(*C. spl*), 통가리(*L. and*), 돌고기(*P. her*), 꼬리(*O. u. a*)들과 같이 유속이 비교적 빠르고 하상에 자갈의 비율이 비교적 높게 구성된 유수역의 특징이 나타나는 서식처들과의 상관성이 높은 것으로 분석되었다. 평여울(Run), 샛강(SC), 개방형 웅덩이(CCP)의 서식처 유형은 참종개(*I. kor*), 미유기(*S. mic*), 피라미(*Z. pla*), 가는돌고기(*P. ten*), 동사리(*O. pla*), 돌마자(*M. yal*)들과 같이 유속이 급여울 보다는 느리나 하상구조가 비교적 다양한 서식처들과 상관성이 높게 나타났다. 한

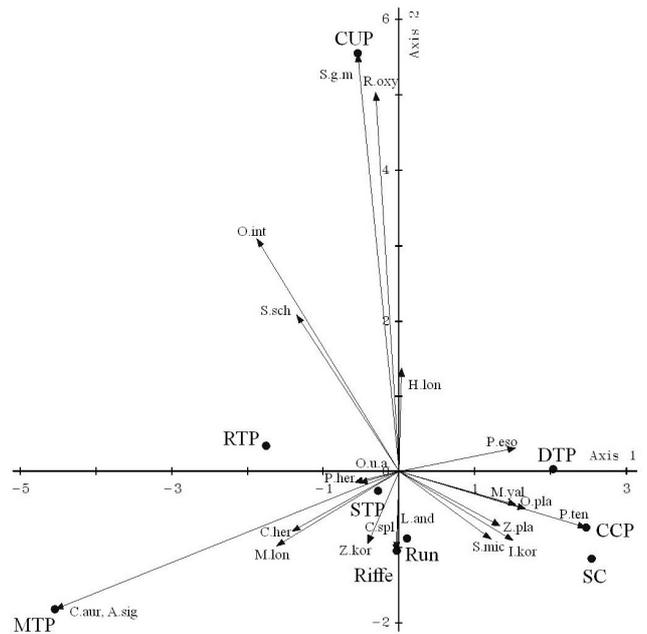


Figure 6. Two axes of principal components analysis between 9 sites and 21 species in the Hongcheon River from August 2009 to April 2010(see Fig. 5 for abbreviations)

편, 폐쇄형 하도습지(CUP)는 긴물개(*S. g. m*) 및 버들치(*R. oxy*)와 상관성이 높은 것으로 나타났으며, 버들치의 경우 본류의 범람으로 인하여 유입되었을 것으로 생각된다. 양화천(Lee *et al.*, 2012)의 서식처 유형별 주성분 분석 결과 정수역의 특징을 나타내는 유형(담형 웅덩이, 개방형 웅덩이, 폐쇄형 하도습지)과 유수역의 서식처 유형(샛강, 낙차형 웅덩이, 급여울)으로 구분되었으며, 유속과 하상구조의 다양성에 의존하는 종들과 상관성이 높게 나타난 홍천강의 서식처 유형과는 차이를 나타내었다.

인용문헌

Anderson, R. and S. Gutreuter(1983) Length, weight and associated structural indices. In: L. Nielsen and D. Johnson(Eds). American Fisheries Society, Benthesda, Md, pp. 283-300.

Anderson, R.O. and R.M. Neumann(1996) Length, weight, and associated structural indices. In: B.R. Murphy and D.W. Willis(Eds). American Fisheries Society, Bethesda, Md, pp. 447-482.

Bray, J.R. and J.T. Curtis(1957) An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. Eco. Monogr. 27: 325-349.

Busacker, G.P., I.R. Adelman and E.M. Goolish(1990) Growth. In: C.B. Schreck and P.B. Moyle(Eds). Methods for fish biology.

- American Fisheries Society, Bethesda Md, pp. 363-387.
- Byeon, H.K.(1988) Environmental factors and micro distribution of community fauna in Hongcheon River. Master's thesis of Kangwon Univ., 31pp. (in Korean)
- Choi, J.K., C.R. Jang and H.K. Byeon(2011) The characteristic of fish fauna by habitat Type and Population of *Zacco platypus* in the Tan Stream. Kor. J. Env. Eco. 25(1): 71-80. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.S and J.K. Kim(2004) Ichthyofauna and fish community in Hongcheon River, Korea. Kor. J. Env. Biol. 18(3): 446-455. (in Korean with English abstract)
- Choi, K.C.(1986) Nature of Kangwon(Freshwater fishes). Board of education, 388pp. (in Korean)
- Cummins, K.W.(1962) An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. Amer. midl. Nat. 67(2): 477-504.
- Ecoriver21(2009) Characteristic of stream's environment assessment with habitat type. Korea institute of construction technology, 220pp.
- Han, S.C., H.Y. Lee, E.W. Seo, J.H. Sim and J.E. Lee(2007) Fish fauna and length-weight relationships for 9 fish species in Andong Reservoir. Kor. J. Life Sci. 17(7): 937-943. (in Korean with English abstract)
- Kaiser, H.F.(1958) The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. Psychometrika 23(3): 187-200.
- Kaiser, H.F.(1961) A note on Guttman's lower bound for the number of common factors. British Journal of Mathematical and Statistical Psychology 14(1): 1-2.
- Kim, I.S. and J.Y. Park(2002) Freshwater fishes of Korea. Kyohak Press Co., Seoul, 465pp. (in Korean)
- Kim, I.S.(1997) Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korean. Vol. 37 Freshwater fishes. Ministry of education, 518pp. (in Korean)
- 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. Kor. J. 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 Press Co., Seoul, 512pp. (in Korean)
- Lee, D.J., H.K. Byeon and J.K. Choi(2009) Characteristics of fish community in Gap Stream by habitat type. Kor. J. Limnol. 42(3): 340-349. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.H., H.G. Lee, H.S. Shin and J.K. Choi(2012) The characteristic of fish fauna and distribution by habitat type in the Yanghwa Stream of the Namhan River Basins. Kor. J. Env. Eco. 26(6): 884-891. (in Korean with English abstract)
- Margalef, R.(1958) Information theory in ecology. Gen. Syst. 3: 36-71.
- McNaughton, S.J.(1967) Relationship among functional properties of California Grassland. Nature 216: 114-168.
- Nelson, J.S.(2006) Fishes of the world(4th ed.). Wiley. New York, 601pp.
- Ney, J.J.(1993) Practical use of biological statistics. Inland fisheries management of North American Fisheries Society. Bethesda, Md, pp. 137-158.
- Park, J.Y., S.H. Kim, M.H. Ko, M.K. Oh and J.C. Shin(2009) Change of ichthyofauna and fish community on natural stream restoration in Jeonju-Chon Stream, Jeollabuk-do, Korea. Kor. J. Env. Eco. 23(5): 381-391. (in Korean with English abstract)
- Park, S.A. and M.W. Lee(2008) Stream restoration guidelines by evaluation of fish habitat and introducing of the keystone species -Geo-seok Stream and Cheonglim Wetland in upper stream of Buan-Dam-. Kor. J. Env. Res. & Reveg. Tech. 11(4) : 24-36. (In Korean with English abstract)
- Pielou, E.C.(1966) The measurement of diversity in different types of biological collections. J. Theor. Biol. 13: 131-144.
- Rutherford, D.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 Evolutionary Ecology of North American Stream Fishes. Univ. of Oklahoma, pp. 178-183.
- Seo, J.W.(2005) Fish fauna and ecological characteristics of dark chub(*Zacco temminckii*) population in the mid-upper region of Gam Stream. Kor. J. Limnol. 38(2): 196-206. (in Korean with English abstract)
- Shannon, C.E. and W. Weaver(1949) The mathematical theory of communication. Univ. of Illinois Press, Urbana, 233pp.
- Ward Jr., J.H. and M.E. Hook(1963) Application of an hierarchical grouping procedure to a problem of grouping profiles. Educational and Psychological Measurement 23(1): 69-81.
- Ward Jr., J.H.(1963) Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the American Statistical Association 58(301): 236-244.
- Yang, H.J., B.S. Chae and M.M. Nam(1991) The ichthyofauna in autumn at upper reach of Hongchon River. Kor. J. Limnol. 24(1): 37-44. (in Korean with English abstract)