

남한강 지류 기화천의 어류 군집 구조 및 연준모치와 금강모치의 분포 특성

전형주 · 백정익¹ · 김정환 · 김승용 · 이완옥² · 박인실² · 송미영*

국립수산과학원 중앙내수면연구소, ¹국립수산과학원 수산자원연구센터, ²전남대학교 수산과학연구소

Community Structure of Fish and Distribution Characteristics of *Phoxinus phoxinus* and *Rhynchocypris kumgangensis* in the Gihwacheon Stream of Namhangang River, Korea by Hyoung-Joo Jeon, Jeong-Ik Baek¹, Kyung-Hwan Kim, Seung-Yong Kim, Wan-Ok Lee², Ihn-Sil Kwak² and Mi-Young Song* (Inland Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Gapyeong 12453, Republic of Korea; ¹Fisheries Resources Research Center, National Institute of Fisheries Science, Tongyeong 56034, Republic of Korea; ²Fisheries Science Institute, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea)

ABSTRACT This study was carried out from March to November, 2013 to investigate the fish community structure and distribution characteristics of *Phoxinus phoxinus* and *Rhynchocypris kumgangensis* appearing in Gihwacheon Stream, Pyeongchang. A total of 6 families and 19 species of fish emerged during the survey period. The dominant species were *R. kumgangensis* (Individuals 44.7%, Biomass 30.2%) and *P. phoxinus* (Individuals 27.7%, Biomass 15.9%). Endemic species were 10 species including *Pseudopungtungia tenuicorpus*, *Coreoleuciscus splendidus*, *Hemibarbus mylodon*, *Gobiobotia brevibarba*, *Microphysogobio longidorsalis*, *R. kumgangensis*, *Zacco koreanus*, *Korecobitis rotundicaudata*, *Iksookimis koreensis* and *Coreoperca herzi*. Endogenous species were *P. tenuicorpus*, *G. brevibarba* and *P. phoxinus*. *Hemibarbus mylodon* was a natural monument. *Oncherhynchus mykiss* was exotic species and translocated species was *Oncorhynchus masou masou*. The dominant species, *R. kumgangensis*, appeared at all survey sites. Except for St.6, the b value was more than 3.0 and the slope of K value showed positive correlation. *P. phoxinus* appeared in St. 3~St. 6 and St. 3 and St. 4 only showed stable populations.

Key words: *Phoxinus phoxinus*, *Rhynchocypris kumgangensis*, Gihwacheon Stream, fish community structure

서 론

하천생태계는 상류에서 하류로 이동하는 물 흐름에 따라 시공간적으로 매우 역동적인 특성을 갖는다(Allan and Castillo, 2007). 하천은 환경 특성에 따라 다양한 생물들의 서식처로서 중요한 기능을 수행할 뿐만 아니라 에너지 순환에서도 다양한 기능을 담당함으로써 하천생태계와 육상생태계가 연속된 생태계를 구성한다(Allan and Castillo, 2007). 하천 생태계의 환경변화는 계절적 및 지리적 위치에 따른 자연적인 교란(Kwak et al., 2004; Alfieri et al., 2015; Laini et al., 2018)과 수질오염

및 댐 건설 등 인위적인 교란으로 인해 발생하게 되며(Kim et al., 2013; Driscoll et al., 2016; George et al., 2018), 생물 군집 변화의 원인이 된다. 따라서 하천생태계의 환경 변화를 파악하기 위해 생물군집의 분포를 파악하는 것은 생물과 환경의 통합평가를 위한 중요한 방법이다(Davis et al., 2003; Park et al., 2011).

기화천(창리천)은 강원도 평창군 미탄면에 위치하고 있으며, 청옥산(1,256 m)에서 발원하여 동강으로 흐르는 하천연장 17 km, 유역면적 104.2 km²이며, 1984년에 수산자원보호구역으로 고시되었으나 수산자원보호구역 지정 목적(열목어 서식)이 상실되어 2012년에 해제되었다(강원도고시 제2012-84호). 평창군 미탄면 부근은 대부분 석회암 지대이며, 카르스트 지형이 발달한 기화천 하안에는 많은 용천이 발달되어 있다(NIBR,

*Corresponding author: Mi-Young Song Tel: 82-31-589-5170,
Fax: 82-31-589-5151, E-mail: miysong@korea.kr

2002). 연중 수온은 20°C 내외로 유지되면서 냉수성 어류인 *Phoxinus phoxinus*와 *Rhynchocypris kumgangensis*가 대량으로 서식하는 핵심 분포지역으로 알려져 있다(Song, 2000; Baek et al., 2002; Song and Son, 2002).

*P. phoxinus*는 북방계 어류로 우리나라에서는 삼척 오십천과 남한강 상류지역에서만 서식이 알려져 있으며, 분포가 매우 협소하고 환경변화에 취약하기 때문에 2017년부터 멸종위기야생생물 II급으로 지정 관리되고 있다(ME, 2017a; NIBR, 2017). *R. kumgangensis*는 냉수성 어류로 수온이 낮은 산간 계류에 무리지어 생활하며, 한강, 임진강 및 금강의 일부지역에서만 서식하는 한반도 고유종으로 국가 기후변화 생물지표종으로 지정되어 있다(Kim et al., 2005; ME, 2017b).

현재까지 기화천에 관한 환경연구는 Kim (2003)의 내수면 수산자원보전지역의 수질환경 연구가 있으며, *P. phoxinus*와 *R. kumgangensis*의 개체군 특성에 대해 기화천 일부 지점에서 조사하여 보고하였다(Song, 2000; Jeon et al., 2002; Song and Son, 2002). *P. phoxinus*와 *R. kumgangensis*는 냉수성 어종으로 분포하는 하천이 제한적이고 환경변화에 매우 민감하기 때문에 세심한 관심이 필요하다. 이 2종에 대한 개체군 생태 연구가 다수 보고되었으며(Song, 2000; Song and Son, 2002; Choi et al., 2006), 서식지 분리와 먹이 선택 연구(Baek et al., 2002), *R. kumgangensis*의 경우에는 탁수 영향(Lee et al., 2008), 기후변화 영향 평가(Kim et al., 2013), 태화강 서식 보고(Byeon, 2016) 등이 있었다.

최근 무분별한 하천 공사의 문제점들이 지적되고 있으며, 전국적으로 분포권역이 좁고 환경변화에 민감한 종의 보호가 필요함이 보고되고 있다(Ko et al., 2012; Chae et al., 2017; Ko et al., 2018). 이를 위해 *P. phoxinus*와 *R. kumgangensis* 2종이 함께 서식하고 있는 기화천의 어류 군집 구조와 2종의 분포 특성에 대해서 논의하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사시기 및 조사지점

평창 기화천의 어류 군집구조와 *P. phoxinus*와 *R. kumgangensis*의 분포 특성을 파악하기 위하여 2013년 3월 19~20일, 4월 17~18일, 6월 19~20일, 8월 21일, 11월 13일에 총 5회 조사를 실시하였다. 조사지점은 하천의 상류부터 하류까지 6개 조사지점을 선정하였으며, 조사지점의 행정구역, 위도 및 경도는 아래와 같다(Fig. 1).

- St. 1: 강원도 평창군 미탄면 회동리
(N 37°21'46.04", E 128°29'19.08")
- St. 2: 강원도 평창군 미탄면 평안리
(N 37°20'45.75", E 128°30'31.26")

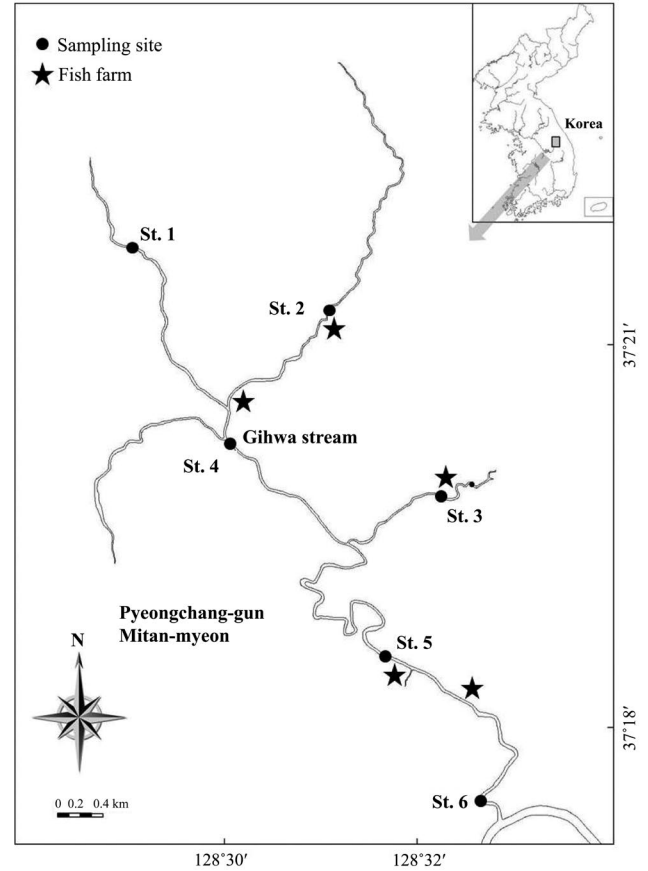


Fig. 1. Location of the sampling sites in Gihwacheon Stream, Korea.

- St. 3: 강원도 평창군 미탄면 백운리
(N 37°19'49.04", E 129°15'03.74")
- St. 4: 강원도 평창군 미탄면 창리
(N 37°20'18.69", E 128°30'06.76")
- St. 5: 강원도 평창군 미탄면 기화리
(N 37°18'32.27", E 128°31'48.22")
- St. 6: 강원도 평창군 미탄면 마하리
(N 37°17'25.26", E 128°32'35.90")

2. 조사내용 및 방법

기화천 각 조사지점의 수온, DO, pH, Conductivity, Salinity는 휴대용 수질측정기(YSI-556MPS, USA)를 사용하여 측정하였다. 각 조사지점의 서식처 환경요인은 하폭, 유폍, 수심, 유속, 하상구조 등을 조사하였으며, 하폭과 유폍은 거리계(Bushnell, yardage pro)를 이용하였고, 유속은 유속계(Flowwatch, JDC)를 사용하여 현장에서 측정하였다. 하천형태는 Kani (1994)의 방법으로 구분하였고, 하상구조는 Cummins (1962)의 방법을 적용하였다. 어류의 채집은 각 조사지점에서 투망(밀면 둘레 14 mm, 망목내경 16 mm) 10회, 족대(밀면 1 m, 높이 0.9 m, 망목

내경 10 mm) 30분간 조사하여 정량적인 조사가 되도록 하였다. 채집된 어류는 현장에서 동정하여 전장, 체장, 체중을 측정 한 후 방류하였으며, 일부개체는 10% 포르말린 수용액에 고정 하여 실험실로 운반한 후 동정하여 정밀 측정하였다. 종의 동 정 및 학명적용은 Kim and Park (2002)을 참조하였고, 분류체 계는 Nelson (2006)의 방법을 따랐다. 어류군집의 조사지점별 우점도 지수(DI; McNaughton, 1967), 종다양도 지수(H'; Shan non and Weaver, 1963), 균등도 지수(E; Pielou, 1975) 및 종풍 부도 지수(RI; Margalef, 1958)를 분석하였다. 조사지점별 출현 하는 어류군집의 유사도 분석은 Primer 5.0 program (PRIMER- E Ltd, UK)을 이용하여 수행하였다. 또한 기화천에서 출현한 *P. phoxinus*와 *R. kumgangensis*의 개체군에 대하여 성장도와 비만도지수(K)를 아래의 식을 이용하여 계산하였다(Bolger and Connolly, 1989; Anderson and Neumann, 1996).

$$TW = aTL^b$$

$$K = TW/TL^3 \times 10^5$$

TW = total weight, TL = total length (a, b: parameters)

결과 및 고찰

1. 조사지점의 환경특성

조사기간 중 수온은 8월이 12.83~20.25°C로 가장 높았으며,

11월이 6.73~11.88°C로 가장 낮았다. 지점별 평균수온은 St. 4 가 13.14°C로 가장 높았으며, St. 3이 11.51°C로 가장 낮았다. 평창 기화천은 석회암 지대가 발달하여 용천수가 발생하는 곳 이 있어, 여름철 수온이 20°C 이상 상승하지 않아 냉수성 어종 의 서식에 유리한 환경 조건을 보였다(NIBR, 2002). DO농도 는 3월이 12.19~13.17 mg/L로 가장 높았고, 6월이 9.72~11.26 mg/L로 가장 낮았으며, DO농도는 수온과 반대되는 경향을 보 였다. 지점별 평균 DO농도는 St. 6이 12.62 mg/L로 가장 높았 으며, St. 4가 11.36 mg/L로 가장 낮았다. pH는 8월이 8.22~9.04 로 가장 높았으며, 3월이 7.04~8.01로 가장 낮았다. 지점별 평 균 pH는 St. 6이 8.27로 가장 높았으며, St. 1이 7.85로 가장 낮 았다. 이는 석회암 지대의 특성을 잘 반영한 것으로 보였다. Conductivity는 11월이 85~391 μS/cm로 가장 높았으며, 3월이 44~225 μS/cm로 가장 낮았다. 지점별 평균 Conductivity는 St. 3이 317 μS/cm으로 가장 높았으며, St. 1이 63 μS/cm으로 다른 지점들 보다 낮았다(Fig. 2). 특히 St. 3은 조사기간 중 유량이 적고 상류지역에서는 건천이 발생하는 구간이 보였다. 기화천 이 위치하는 평창군 미탄면 일대는 석회암 지대가 발달하여 하 천 일부구간에서 건천이 발생할 수 있으며 이는 하천에 서식 하는 어류의 이동에 영향을 줄 수 있을 것이다.

조사지점 중 상류인 St. 1은 Aa형 하천으로 하천의 폭이 좁 고 수심이 낮으며, 하상은 주로 돌(Bolder)과 자갈(Cobble) 등 이 주로 섞여 있었다. St. 2는 Aa형 하천으로 주변에 양어장이 위치하고 있었고, 하천공사가 이루어지고 있었으며, 하상은 주

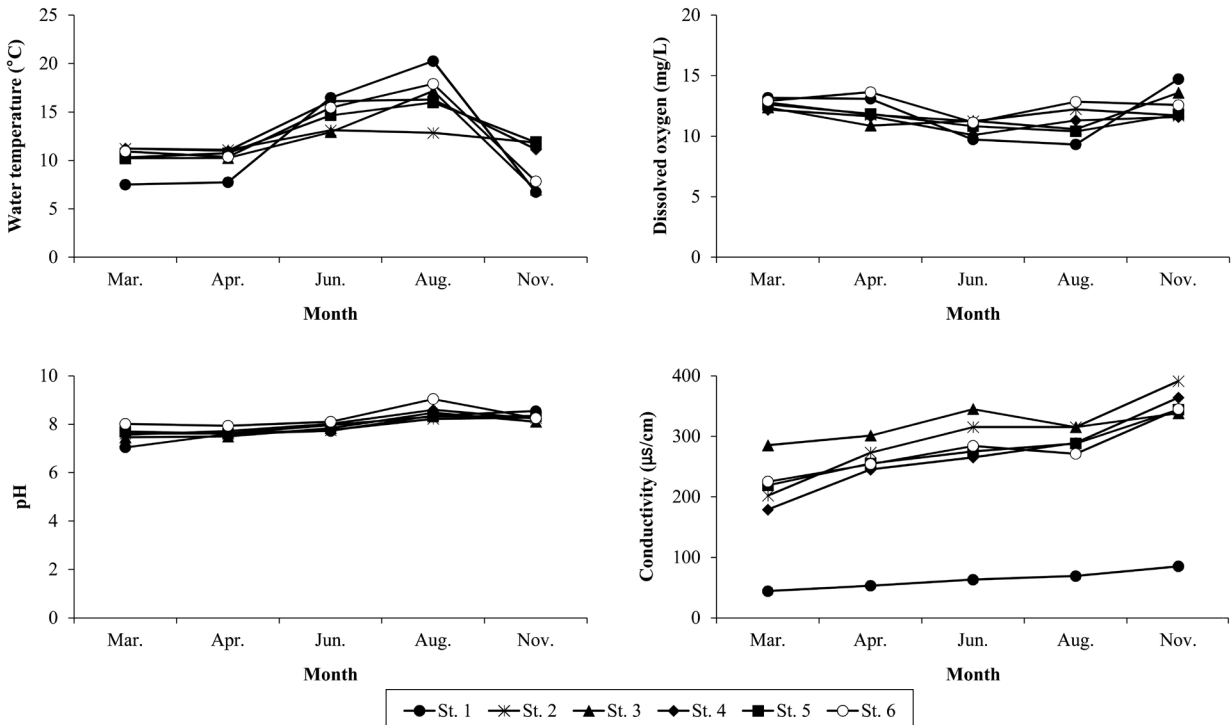


Fig. 2. Seasonal variation of water quality at each site in Gihwacheon Stream, Pyeongchang, Korea in 2013.

Table 1. The environmental characteristics of sample sites in Gihwacheon Stream, Pyeongchang, Korea in 2013

Site	Stream width (m)	Water width (m)	Water depth (cm)	Water velocity (m/s)	River type*	Bottom structure (%)**				
						B	C	P	G	S&M
St. 1	12	8~10	9~32	1.8	Aa	40	30	20	5	5
St. 2	20~40	10~20	14~70	1.7	Aa	10	30	40	10	10
St. 3	5~20	3~5	15~300	0.2	Aa	10	40	30	10	10
St. 4	30	4~8	30~83	0.9	Ab	20	30	20	10	20
St. 5	20~30	10~30	10~200	1.3	Ab	5	20	50	20	5
St. 6	30~50	10~20	30~200	1.1	Ab	-	30	50	15	5

*by Kani (1944), **B (Bolder): >256 mm, C(Cobble): 64~256 mm, P(Pebble): 16~64 mm, G(Gravel): 2~16 mm, S&M (Sand and Mud): <2 mm)(Cummins, 1962)

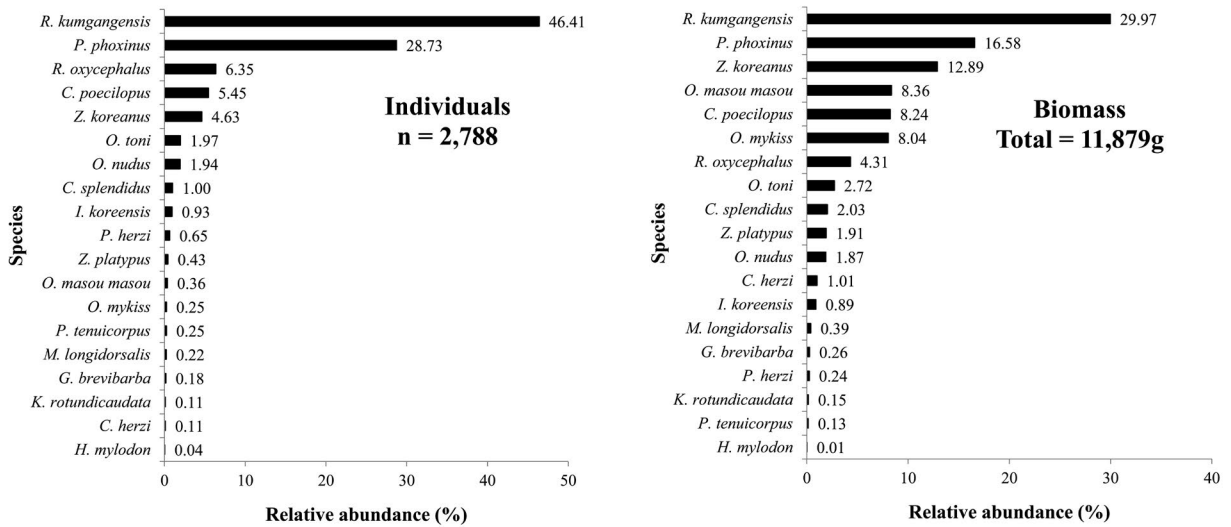


Fig. 3. Comparison of individuals and biomass of collected fishes in Gihwacheon Stream, Pyeongchang, Korea in 2013.

로 자갈과 잔자갈(Pebble)이 섞여있었다. St. 3도 Aa형 하천으로 하천의 폭은 좁았고, 수심은 깊었으며, 주변에 양어장이 위치하고 있었다. 하상은 자갈과 잔자갈이 섞여있었다. St. 4는 Ab형 하천이며 2개의 하천이 만나는 지점으로 하상은 돌, 자갈, 잔자갈, 모래, 진흙 등이 골고루 섞여있었다. St. 5는 Ab형 하천으로 주변에 양어장이 위치하고 있었고, 하천의 폭이 넓어지며 수심이 깊었다. 하상은 주로 잔자갈인 곳이었다. St. 6은 하류지점으로 Ab형 하천이었고, 하천의 폭이 넓고 수심이 깊었으며, 하상은 주로 자갈과 잔자갈이었다(Table 1).

2. 어류상

기화천에서 출현한 어류는 총 6과 19종 2,788개체로 나타났고, 조사지점별 출현 어류는 St. 1에서 6종, St. 2에서 5종, St. 3에서 6종, St. 4에서 9종, St. 5에서 13종, St. 6에서 15종으로 나타났으며 하류지점인 St. 6에서 가장 많은 출현 종을 확인하였다. 조사시기별 출현어류는 3월에는 10종, 4월에는 10종, 6월에는 13종, 8월에는 18종, 11월에는 15종이 출현하여 8월에 가장

많은 출현 종을 확인할 수 있었다(Table 2). 우점종인 *R. kumgangensis*는 상류부터 하류까지 전 지점에서 분포하였으며, St. 4에서 출현 개체수가 가장 많았고, St. 2에서는 1개체만 채집되었다. 아우점종인 *P. phoxinus*는 St. 3~St. 6까지 분포하였으며, St. 6에서는 24개체만 출현하였다. *Rhynchocypris oxycephalus*는 St. 6을 제외한 전 지점에서 채집되었으며, *R. kumgangensis*와 *P. phoxinus*는 일부지점에 집중 분포하는 경향을 보였다. *Cottus koreanus*는 St. 2와 St. 5에서 다수가 채집되었다.

Cyprinidae 어류가 10종(86.43%)으로 가장 많았고, 다음으로 Cottidae 어류 1종(5.58%), Balitoridae 어류 2종(3.67%), Salmonidae 어류 2종(3.16%), Cobitidae 어류 2종(1.06%) 순으로 출현하였다. 개체수는 *R. kumgangensis* (44.68%), *P. phoxinus* (27.66%), *R. oxycephalus* (6.35%), *C. koreanus* (5.58%), *Zacco koreanus* (4.73%)의 순으로 우점하였다(Fig. 3). 생체량은 *R. kumgangensis* (30.18%), *P. phoxinus* (15.87%), *Z. koreanus* (12.88%), *Oncorhynchus masou masou* (9.12%), *C. koreanus* (8.23%) 등이 풍부하였다(Fig. 3). 출현 어류 중 우리나라 고유종은 *Pseudopungtungia tenuicorpus*, *Coreoleuciscus splendidus*,

Table 2. The list and individual number of collected fishes at each site in Gihwacheon Stream, Pyeongchang, Korea in 2013

Scientific name (국명)/sampling site	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4		St. 5		St. 6		Individuals		Biomass (g)		Remarks*	
	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	Total	RA (%)	Total	RA (%)		
	Cyprinidae (잉어과)																	
<i>Pungtungia herzi</i> (돌고기)											18	28.1	18	0.66	28.1	0.24		
<i>Pseudoptungia tenuicorpus</i> (가는돌고기)											7	15.6	7	0.26	15.6	0.13	Ke, En	
<i>Coreoleuciscus splendidus</i> (쉬리)											27	228.9	28	1.03	242.6	2.03	Ke	
<i>Hemibarbus mylodon</i> (어름치)					1	13.7					1	1.7	1	0.04	1.7	0.01	Ke, Mn	
<i>Gobiobotia brevibarba</i> (돌상어)											5	30.8	5	0.18	30.8	0.26	Ke, En	
<i>Microphysogobio longidorsoxalis</i> (배가사리)											6	46.9	6	0.22	46.9	0.39	Ke	
<i>Phoxinus phoxinus</i> (연준모치)					21	84.6	508	1,449.7	201	339.7	24	19.3	754	27.66	1,893.3	15.87	En	
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i> (벼들치)	1	0.3	50	82.3	109	364.5	3	13.3	15	54.0			178	6.53	514.4	4.31		
<i>Rhynchocypris kungangensis</i> (금강모치)	195	401.2	1	3.5	11	50.0	518	2,244.4	371	657.1	122	245.6	1,218	44.68	3,601.7	30.18	Ke	
<i>Zacco koreanus</i> (참갈겨니)										36	786.1	93	751.1	129	4.73	1,537.1	12.88	Ke
<i>Zacco platypus</i> (피라미)										3	102.2	9	126.2	12	0.44	228.4	1.91	
Balitoridae (종개과)																		
<i>Orthrias toni</i> (종개)	6	31.3	10	33.5	23	162.2	4	34.9	2	27.5	1	5.3	46	1.69	294.8	2.47		
<i>Orthrias nudus</i> (대륙종개)					42	148.7	4	30.7	3	14.1	5	29.9	54	1.98	223.4	1.87		
Cobitidae (미꾸리과)																		
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i> (새코미꾸리)	2	3.5																
<i>Iksookinia koreensis</i> (참종개)																		
Salmonidae (연어과)																		
<i>Oncorhynchus masou masou</i> (산천어)																		
<i>Oncorhynchus mykiss</i> (무지개송어)	2	142.6			1	252.6												
Cottidae (독종개과)																		
<i>Cottus koreanus</i> (독종개)	3	37.4	91	524.6			1	24.7	57	395.8			152	5.58	982.4	8.23		
Centropomidae (괘지과)																		
<i>Coreoperca herzi</i> (괘지)													3	0.11	120.1	1.01	Ke	
Total	209	616.4	153	682.7	207	1,062.6	1,050	5,172.7	699	2,579.2	408	1,818.8	2,726	100.0	11,932.3	100.0		
No. of species	6		5		6		9		13		15		19					

*Ke: Korean endemic species, En: Endangered species, Mn: Natural monument, Ex: Exotic species, RA: Relative abundance (%)

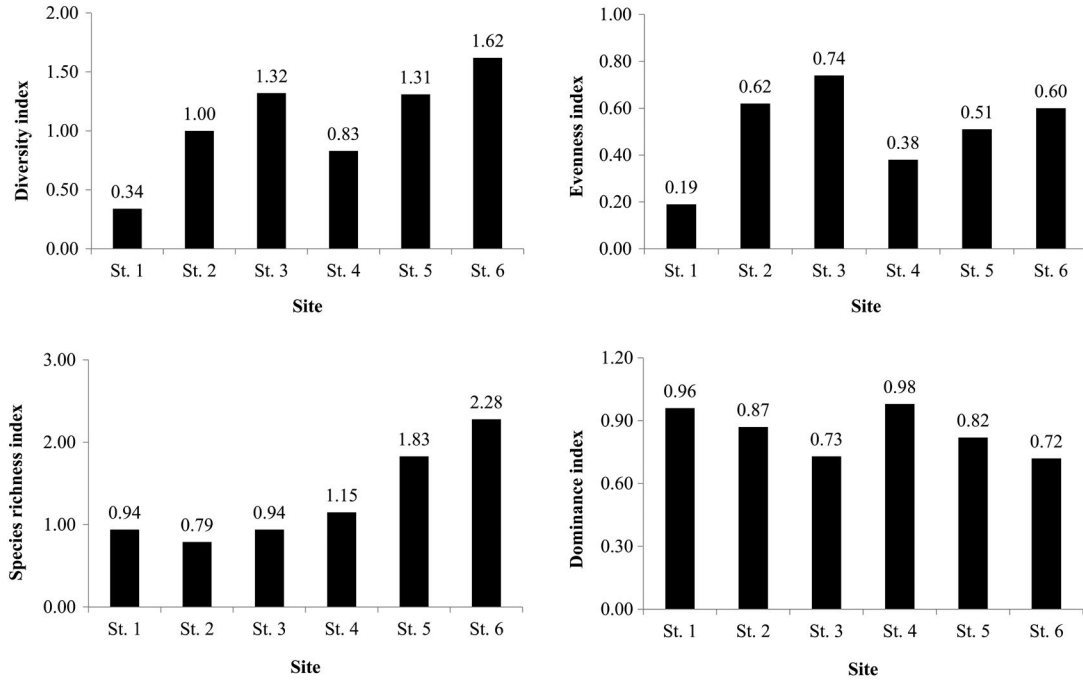


Fig. 4. Community indices at each site in Gihwacheon Stream, Pyeongchang, Korea in 2013.

Hemibarbus mylodon, *Gobiobotia brevibarba*, *Microphysogobio longidorsalis*, *R. kumgangensis*, *Z. koreanus*, *Korecobitis rotundicaudata*, *Iksookimis koreensis*, *Coreoperca herzi* 등 10종이었으며, 전체 출현종의 53.87%로 확인되어 매우 높은 고유성을 보였다. 이는 인근 평창강 어류군집 보고에서 전체 어류 출현종 9과 35종 중 고유종 20종(57.14%)이 출현하여 높은 고유성을 나타낸 것과 유사한 결과였다(Lee *et al.*, 2006). 천연기념물 259호 *H. mylodon*와 멸종위기야생생물 II급인 *P. tenuicorpus*, *Gobiobotia brevibarba*, *P. phoxinus* 등 3종이 출현하였다. 외래종인 *O. mykiss*의 서식이 확인되었고, 울진 이북의 동해로 유입되는 하천의 상류에 서식하는 *Oncorhynchus masou masou*는 영서지방의 하천에는 자연분포하지 않는 국내이입종(Chae *et al.*, 2019)으로 이에 대한 지속적인 모니터링이 필요하였다.

*R. kumgangensis*와 *P. phoxinus* 두 종은 냉수성 어류로 하천의 최상류에 서식하고 있으며, 남한강 상류인 정산과 평창 일대에서는 동일 장소에 공서한다고 보고하였다(Song, 2000; Baek *et al.*, 2002; Song and Son, 2002). *R. oxycephalus*는 St. 6을 제외한 모든 지점에서 출현하였으며, *R. kumgangensis*와 *P. phoxinus* 밀도가 낮은 지점에서 많은 개체수가 채집되었으며, *C. koreanus*는 St. 2와 St. 5에서 출현 개체수가 많았다. *C. koreanus*는 북방계 어류로 남한에서는 임진강, 남북한강, 낙동강, 삼척오십천, 양양남대천 등의 최상류지역에 서식하는 것으로 알려져 있다(NIBR, 2002). 주변에 숲이 발달되어 수온이 비교적 낮고 유량이 풍부한 하천의 지류 또는 상류지역에 서식하

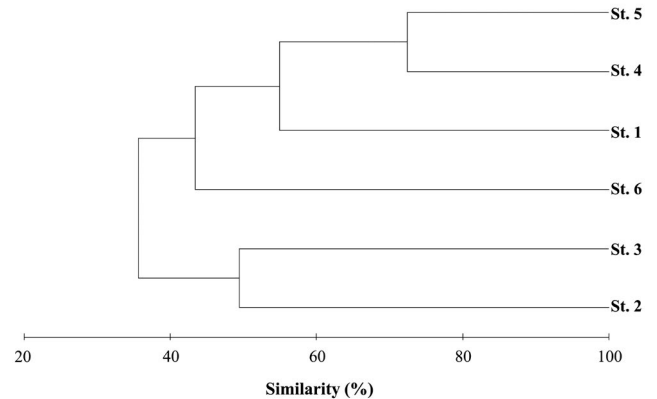


Fig. 5. Dendrogram of similarity at each site in Gihwacheon Stream, Pyeongchang, Korea in 2013.

는데 환경변화에 매우 취약한 어종이며 근래에 서식처의 파괴 등으로 전국적으로 분포권역이 축소되고 있어 이들 종에 대한 보전이 필요하다.

3. 어류 군집지수

조사지점별 다양도 지수는 St. 6에서 1.62로 가장 높았고, St. 1에서 0.34로 가장 낮았으며, 균등도 지수는 St. 3에서 0.74로 가장 높았다(Fig. 4). 종 풍부도 지수는 St. 6에서 2.28로 가장 높았고, St. 5에서 0.79로 가장 낮았다. 그리고 우점도 지수는

St. 6에서 0.72로 가장 낮았으며, St. 4에서 가장 높았다. 균등도 지수와 우점도 지수는 반대되는 경향을 보였다. St. 6에서 가장 많은 종수가 확인되어 다양도 지수와 종 풍부도 지수가 가장 높았으며, St. 1에서 적은 종수가 확인된 것에 비해 *R. kumgangensis*만 우점하게 출현하여 우점도 지수만 높게 나타났다.

4. 유사도 분석

기화천 조사지점의 어류군집에 대한 유사도를 분석한 결과, 유입하천인 St. 2, St. 3과 St. 1, St. 4~6지점이 두 그룹으로 나뉘어졌다(Fig. 5). St. 2와 St. 3은 기화천의 유입하천이고, 주변에 양어장이 위치하고 있어 다른 지역보다 출현 종의 수가 적었다. St. 4와 St. 5는 본류에 속하는 지점으로서 많은 개체수가

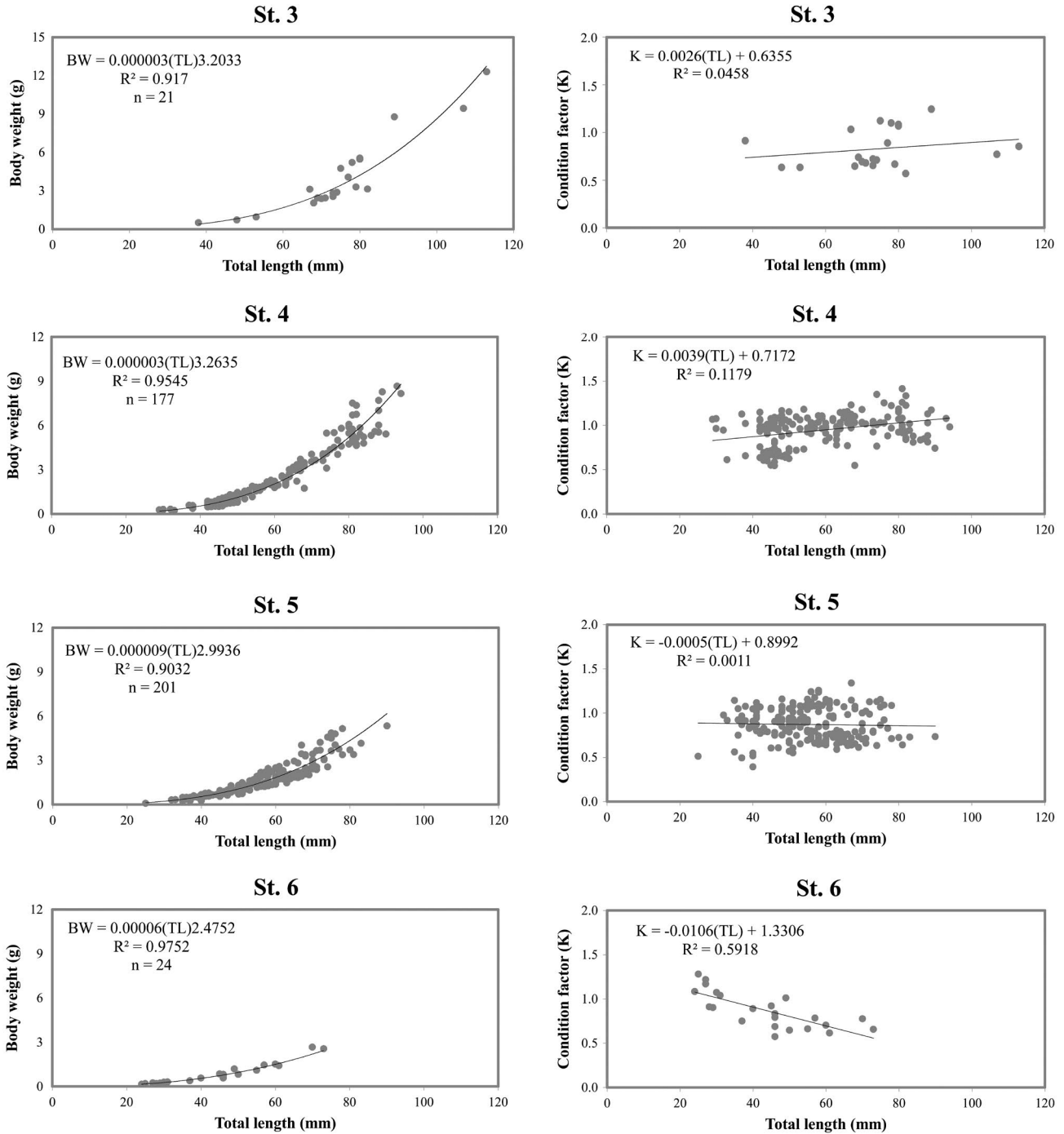


Fig. 6. Length-weight relationship and condition factor for *P. phoxinus* collected at each site in Gihwacheon Stream, Pyeongchang, Korea in 2013.

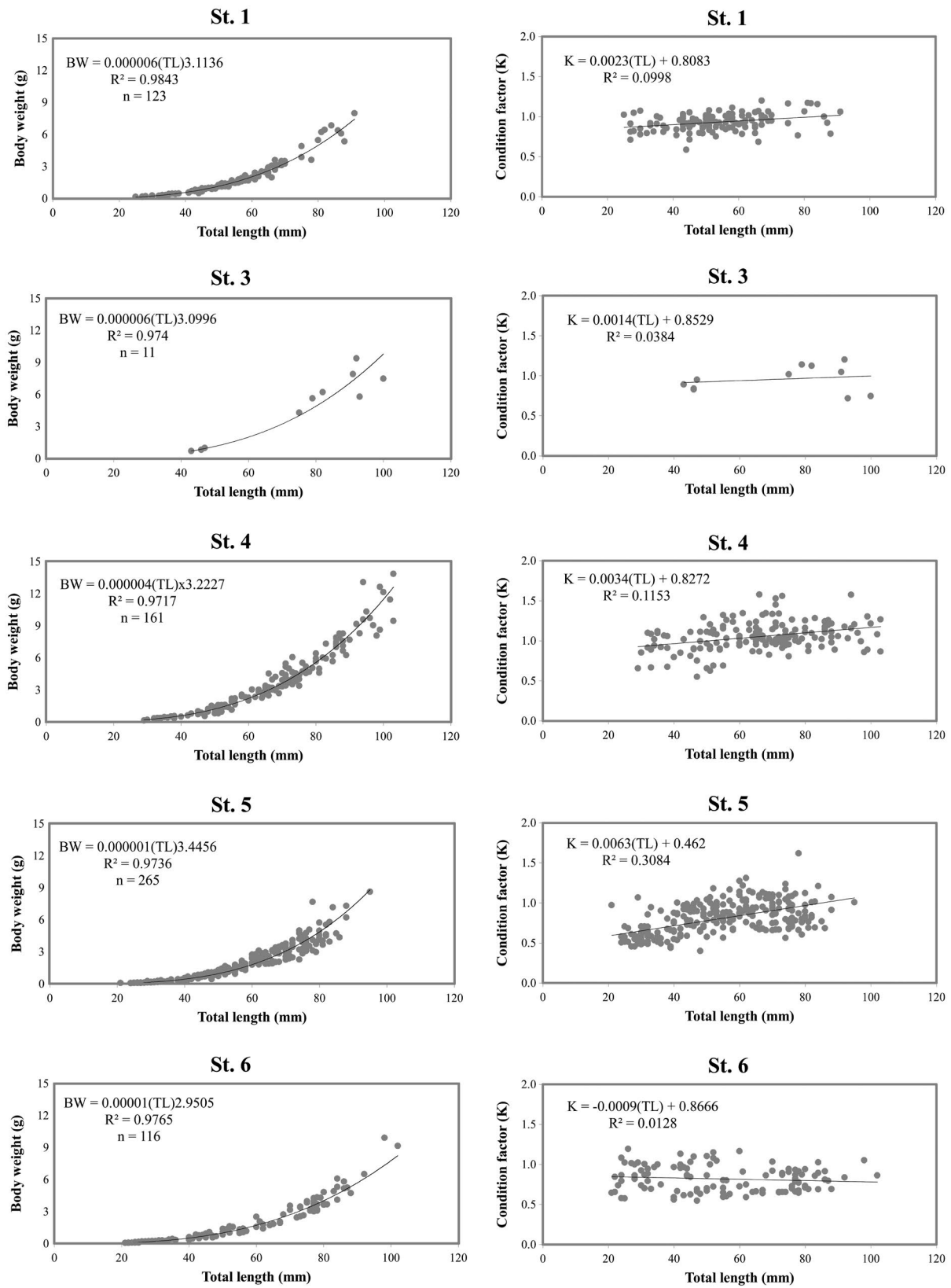


Fig. 7. Length-weight relationship and condition factor for *R. kumgangensis* collected at each site in Gihwacheon Stream, Pyeongchang, Korea in 2013.

출현하였고, 70% 이상의 군집 유사도를 보였다.

5. 주요 종의 전장과 체중 관계

기화천에서 출현한 어류 중 우점종인 *R. kumgangensis*와 *P. phoxinus*는 생태적으로 매우 중요하다. *P. phoxinus*는 북방계 어류로 우리나라에서는 삼척 오십천과 남한강 상류지역에서만 서식이 알려져 있으며, 우리나라가 분포역의 최남한지로 보고되고 있어(NIBR, 2017) 종 보존 및 서식처 보호가 필요하다. 최근 하천정비, 수질 오염, 수온 상승 등으로 멸종위기범주로 평가되어 있으며, 분포가 매우 협소하고 환경변화에 취약하기 때문에 2017년부터 멸종위기야생생물 II급으로 지정 관리되고 있다(ME, 2017a). *R. kumgangensis*는 냉수성 어류로 수온이 낮은 산간 계류에 무리지어 생활하며, 한강, 임진강 및 금강의 일부지역에서만 서식하는 한반도 고유종으로 국가 기후변화 생물지표종으로 지정되어 있다(Kim *et al.*, 2005; ME, 2017b). 생태적으로 중요한 이들 종의 기화천 내에서 개체군 특성을 파악하기 위하여 전장-체중 관계 분석과 비만도 지수를 비교하였다. 길이-무게 상관관계와 비만도지수-길이 관계는 어류의 건강성과 개체군 평가에서 광범위하게 사용되어 왔다(Bolger and Connolly, 1989; Adams, 2002; Bervoets and Blust, 2003; Rätz and Lloret, 2003; Seo, 2005; Jang *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2008; Mozsár *et al.*, 2015). *P. phoxinus* 개체군의 전장-체중 관계 분석에 따르면, 조사지점의 회귀계수 값은 2.4725~3.2635 이었고, 비만도 지수-전장과의 관계 분석에서는 기울기 값이 -0.0106~0.0039로 나타나 기울기에서 차이를 보였다. 회귀계수 값은 St. 4에서 3.2635로 가장 높았고, St. 6에서 2.4752로 가장 낮았다. 성장에 따른 K값의 기울기는 St. 4에서 0.0039로 가장 높았으며, St. 6에서 -0.0106으로 가장 낮았다(Fig. 6). 전장-체중의 관계식에서 얻어진 회귀계수 b값은 개체군의 건강상태나 생식능력의 정도 등 다양한 정보를 제공하는 중요한 자료로 이용된다(Seo, 2005; Jang *et al.*, 2007; Choi *et al.*, 2011). 일반적으로 회귀계수 b값이 3.0보다 크면 길이에 비해 비대하다는 것을 뜻하며 b값이 3.0보다 작으면 개체가 비대하지 않는 것을 의미한다(Seo, 2005). 대체로 개체군의 전장-체중 관계식에서 얻어진 회귀계수 b값이 3.0 이상이며, K값의 기울기가 양의 값을 보이면 안정된 개체군으로 보고 있다(Seo, 2005; Choi *et al.*, 2011). 기화천에 서식하는 *P. phoxinus* 개체군의 회귀계수 b는 St. 3과 St. 4에서는 3.0 이상으로 나타났으나, 그 외 조사지점의 개체군은 3.0 이하로 조사지점에 따라 뚜렷한 차이를 보였다. 이는 K값의 기울기에서도 그 경향이 반영되어 St. 5와 St. 6에서 음의 기울기를 나타내었다. 기화천에서 *P. phoxinus* 개체군과 동서 출현종인 *R. kumgangensis* 개체군의 전장-체중 관계 분석에 따르면, 조사지점의 회귀계수 값은 3.4456~2.9505이었고, 비만도 지수-전장과의 관계 분석에서는 기울기

값이 -0.0009~0.0063으로 나타났다. 회귀계수 값은 St. 5에서 3.4456으로 가장 높았고, St. 6에서 2.9505로 가장 낮았다. 성장에 따른 K값의 기울기는 St. 5에서 0.0063으로 가장 높았으며, St. 6에서 -0.0009로 가장 낮았다(Fig. 7). *R. kumgangensis* 개체군의 회귀계수 b는 St. 6을 제외한 모든 지점에서 3.0 이상으로 나타났으며, K값의 기울기도 St. 6에서만 음의 값으로 나타났다. *P. phoxinus* 개체군은 St. 4에서 가장 양호한 성장상태를 보였고, *R. kumgangensis* 개체군은 St. 5에서 b값과 K값의 기울기가 각각 3.4456, 0.0063으로 가장 높았다. 조사지점 St. 4는 기화천 본류에 위치하며 유입하천과 합류하는 지점으로 상류에 대형 무지개송어 양어장이 있어 영양염의 유입이 많을 것으로 사료되며, 수서곤충의 서식밀도가 높아 이들을 먹이원으로 하는 두 종의 영양상태가 양호한 것으로 보인다. Baek *et al.* (2002)의 연구에 따르면, 두 종은 동일 서식지에서 미소서식지와 먹이자원을 효율적으로 분리하며 공서하는 기작을 보인다고 하였다. 생태적 지위가 유사한 종들은 대부분 동일 장소에 함께 서식하지 않지만, 동일 하천에 서식하는 경우에도 한정된 자원을 서로 경쟁하면서 이용하기 때문에 시간, 공간, 먹이원 등 자원을 적절히 분할함으로써 종간 경쟁을 피하고 있다(Hardin, 1960; Nilsson, 1967; Sale, 1969). 그러나 기화천 하류지점인 St. 6은 두 종이 공서하고 있으나, 다른 조사지점과 달리 b값과 K값의 기울기가 가장 낮았다. 이 지점은 동서종의 출현비율이 가장 높은 지점이고, 하류지점으로 다른 지점에 비해 수온이 다소 높아, 냉수성 어종인 두 종의 서식에는 불리한 것으로 보인다. 또한 제한된 공간에 서식할 경우 경쟁이 치열해지면 건강성에 악영향을 줄 수 있어, 추후에 보호종인 *P. phoxinus* 개체군에 대한 지속적인 모니터링이 필요할 것이다.

요 약

본 연구는 평창의 남한강 지류 기화천에 출현하는 어류 군집 구조 및 *Phoxinus phoxinus*와 *Rhynchocypris kumgangensis*의 분포 특성을 파악하고자 2013년 3월부터 11월까지 조사하였다. 조사기간 동안 총 6과 19종의 어류가 출현하였으며, 개체수 및 생체량 우점종은 *R. kumgangensis* (Individuals 44.7%, Biomass 30.2%), 아우점종은 *P. phoxinus* (Individuals 27.7%, Biomass 15.9%)이었다. 고유종은 *Pseudopungtungia tenuicorpus*, *Coreoleuciscus splendidus*, *Hemibarbus mylodon*, *Gobiobotia brevibarba*, *Microphysogobio longidorsalis*, *R. kumgangensis*, *Zacco koreanus*, *Korecobitis rotundicaudata*, *Iksookimis koreensis*, *Coreoperca herzi* 등 10종이었고, 멸종위기종은 *P. tenuicorpus*, *G. brevibarba*, *P. phoxinus* 등 3종이었고, 천연기념물 *Hemibarbus mylodon*이 출현하였다. 양식용으로 국외에서 도입된 *Onchorhynchus mykiss*와 국내 이입종인 *Oncorhynchus masou*

*masou*가 확인되었다. 우점종인 *R. kumgangensis*는 모든 조사 지점에서 출현하였으며, St. 6을 제외하고 b값이 3.0 이상이고 K값의 기울기가 양의 상관성을 보였다. *P. phoxinus*는 조사지점 St. 3~St. 6에서 출현하였으며, St. 3과 St. 4에서만 안정적인 개체군 상태를 나타내었다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 수산과학연구사업 (R2019028)과 한국연구재단 중점연구사업 (NRF-2018-R1A6A1A-03024314)의 지원을 받아 수행되었습니다. 이 논문을 세심하게 검토해주신 세 분의 심사위원께 감사드립니다.

REFERENCES

- Adams, S.M. 2002. Biological indicators of aquatic ecosystem stress. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 644pp.
- Alfieri, L., P. Burek, L. Feyen and G. Forzieri. 2015. Global warming increases the frequency of river floods in Europe. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19: 2247.
- Allan, J.D. and M.M. Castillo. 2007. Stream ecology: Structure and function of running waters. Springer, Dordrecht, the Netherlands.
- Anderson, R.O. and R.M. Neumann. 1996. Length, weight, and associated structural indices. In: Murphy, B.R. and D.W. Willis (eds.), *Fisheries Techniques*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA, pp. 447-482.
- Baek, H.M., H.B. Song, H.S. Sim, Y.G. Kim and O.K. Kwon. 2002. Habitat segregation and prey selectivity on cohabitation fishes, *Phoxinus phoxinus* and *Rhynchocypris kumgangensis*. *Korean J. Ichthyol.*, 14: 121-131. (in Korean)
- Bervoets, L. and R. Blust. 2003. Metal concentrations in water, sediment and gudgeon (*Gobio gobio*) from a pollution gradient: relationship with fish condition factor. *Environ. Pollut.*, 126: 9-19.
- Bolger, T. and P.L. Connolly. 1989. The selection of suitable indexes for the measurement and analysis of fish condition. *J. Fish Biol.*, 34: 171-182.
- Byeon, H.K. 2016. The first record on the *Rhynchocypris kumgangensis* from Taehwa River, Korea. *Korean J. Environ. Ecol.*, 30: 745-750. (in Korean)
- Chae, B.S., H.B. Song, J.Y. Park and K.H. Cho. 2019. A field guide to the freshwater fishes of Korea. LG Evergreen Foundation, Seoul, 194pp. (in Korean)
- Chae, B.S., S.K. Kim, Y.H. Kang, N.S. Heo, D.U. Yoo, J.M. Park and H.U. Ha. 2017. Ichthyofauna and fish community structure in the Hoecheon stream and some adjacent tributaries of the Nakdonggang River, Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 29: 205-217. (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. *Korean J. Environ. Ecol.*, 25: 71-80. (in Korean)
- Choi, J.K., K.Y. Lee, Y.S. Jang, J.H. Park and O.K. Kwon. 2006. Feeding habit of *Rhynchocypris kumgangensis* (Cyprinidae) from the Hongcheon River, Korea. *Korean J. Environ. Biol.*, 24: 29-37. (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. *Am. Midl. Nat.*, 67: 477-504.
- Davis, S., S.W. Golladay, G. Vellidis and C.M. Pringle. 2003. Macroinvertebrate biomonitoring in intermittent coastal plain streams impacted by animal agriculture. *J. Environ. Qual.*, 32: 1036-1043.
- Driscoll, C.T., K.M. Driscoll, H. Fakhraei and K. Civerolo. 2016. Long-term temporal trends and spatial patterns in the acid-base chemistry of lakes in the Adirondack region of New York in response to decreases in acidic deposition. *Atmos. Environ.*, 146: 5-14.
- George, S.D., B.P. Baldigo, G.B. Lawrence and R.L. Fuller. 2018. Effects of watershed and in-stream liming on macroinvertebrate communities in acidified tributaries to an Adirondack lake. *Ecol. Ind.*, 85: 1058-1067.
- Hardin, G. 1960. The competitive exclusion principle. *Science* 131: 1292-1297.
- Jang, Y.S., J.K. Choi, K.Y. Lee, J. Seo and B. Kim. 2007. Length-weight relationship and condition factor of *Zacco platypus* in the lake Hongseong. *Korean J. Limnol.*, 40: 412-418. (in Korean)
- Jeon, S.R., H.K. Byeon and C.I. Choi. 2002. Ecological study on the fish community in the Dong River, Korea. *Korean J. Limnol.*, 35: 350-358. (in Korean)
- Kani, T. 1994. Ecology of Torrent-inhabiting insects. In: Furukawa, H. (ed.), *Insect 1. Kenkyu-sha*, Tokyo, pp. 171-317. (in Japanese)
- Kim, D.H., W.S. Cho and T.S. Chon. 2013. Self-organizing map and species abundance distribution of stream benthic macroinvertebrates in revealing community patterns in different seasons. *Ecol. Inform.*, 17: 14-29.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. *Freshwater fishes of Korea*. Kyohaksa Publishing Co. Ltd., Seoul, 467pp. (in Korean)
- Kim, I.Y. 2003. A study on water quality environment at inland water resource preservation region: Yangyang Namdae Stream, Pyungchng Gihwa Stream, Uljin Wangpi Stream, Kanggu Oship Stream. Kwandong University Master thesis, 78pp. (in Korean)
- Kim, S., H.S. Noh, S.J. Hong, J.W. Kwak and H.S. Kim. 2013. Impact of climate change on habitat of the *Rhynchocypris kumgangensis* in Pyungchang River. *J. Wet. Res.*, 15: 271-280. (in Korean)
- Ko, M.H., M.S. Han and S.M. Kwan. 2018. Distribution aspect and extinction threat evaluation of the endangered species, *Cottus hangiongensis* (Pisces: Cottidae) in Korea. *Korean J. Ichthyol.*

- ol., 30: 155-160. (in Korean)
- Ko, M.H., S.J. Moon, S.J. Lee and I.C. Bang. 2012. Community structure of fish and inhabiting status of endangered species, *Cobitis choii* and *Gobiobotia naktongensis* in the Ji stream. Korean J. Limnol., 45: 356-367. (in Korean)
- Kwak, I.S., M.Y. Song and T.S. Chon. 2004. The effects of natural disturbances on benthic macro-invertebrate. Korean J. Limnol., 37: 87-95.
- Laini, A., R. Bolpagni, T. Cancellario, S. Guareschi, E. Racchetti and P. Viaroli. 2018. Testing the response of macroinvertebrate communities and biomonitoring indices under multiple stressors in a lowland regulated river. Ecol. Ind., 90: 47-53.
- Lee, J.Y., J.K. Choi, J.K. Kim, Y.S. Jang, K.Y. Lee and B. Kim. 2008. Ecological effects of Kumgangfat minnow (*Rhynchocypris kumgangensis*) on turbid water. Korean J. Environ. Ecol., 22: 184-191. (in Korean)
- Lee, K.Y., Y.S. Jang and J.S. Choi. 2006. Fish fauna and inhabitation of legally protected species in the Pyeongchang River. Korean J. Environ. Ecol., 20: 331-339. (in Korean)
- Margalef, R. 1958. Information theory in biology. General Systems Yearbook, 3: 36-71.
- McNaughton, S.J. 1967. Relationship among functional properties of California Grassland. Nature, 216: 168-169.
- ME (Ministry of Environment). 2017a. Conservation and management laws of wildlife (Law No. 14513). (in Korean)
- Mozsár, A., G. Boros, P. Sály, L. Antal and S.A. Nagy. 2015. Relationship between Fulton's condition factor and proximate body composition in three freshwater fish species. J. Appl. Ichthyol., 31: 315-320.
- Nelson, J.S. 2006. Fishes of the world. 4th ed. JohnWiley & Sons, New York, U.S.A., 624pp.
- NIBR (Ministry of Environment). 2017a. Climate-sensitive biological indicator species. National Institute of Biological Resources. (in Korean)
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2002. Dong River Basin Ecosystem Survey Report. Ministry of Environment, Incheon, 258pp. (in Korean)
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2017. Endangered species in Korea. Ministry of Environment, Incheon, pp. 254-255. (in Korean)
- Nilsson, N.A. 1967. Interactive segregation between fish species. In: Gerking, S.D. (ed.), The Biological Basis of Freshwater Fish Production. Blackwell Scientific Publications Oxford, pp. 295-313.
- Park, Y.J., K.D. Kim, Y.H. Cho, Y.G. Han, Y.J. Kim and S.H. Nam. 2011. Habitat classification and distribution characteristic of aquatic insect functional feeding groups in the Geum River, Korea. Korean J. Environ. Ecol., 25: 691-709.
- Pielou, E.C. 1975. Ecological diversity. John Wiley, New York, 167 pp.
- Rätz, H.J. and J. Lloret. 2003. Variation in fish condition between Atlantic cod (*Gadus morhua*) stocks, the effect on their productivity and management implications. Fisheries Research, 60: 369-380.
- Sale, P.F. 1969. A suggested mechanism for habitat assemblages: a review of field studies. Copeia, 1986: 352-388.
- Seo, J. 2005. Fish fauna and ecological characteristics of Dark chub (*Zacco temminckii*) population in the mid-upper region of Gam Stream. Korean J. Limnol., 38: 196-206. (in Korean)
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. The mathematical theory of communication. Illinois Univ. Press, Urbana, USA, 117pp.
- Song, H.B. 2000. Population ecology of fat minnow, *Rhynchocypris kumgangensis* (Cyprinidae) in Korea. Korean J. Ichthyol., 12: 101-110. (in Korean)
- Song, H.B. and Y.M. Son. 2002. Maturity and reproductive ecology of the minnow, *Phoxinus phoxinus* (Cyprinidae) in the upper south Han River, Korea. Korean J. Ichthyol., 14: 262-268. (in Korean)