

꺅저기 *Coreoperca kawamebari*와 꺅저 *C. herzi*의 공서 하천인 보성강에서 환경 차이에 따른 두 종의 분포와 어류 군집 구조

김석현 · 이상현¹ · 이완옥² · 조강현*

(인하대학교 자연과학대학 생명과학과, ¹서울대학교 환경대학원 환경계획학과,
²국립수산과학원 중앙내수면연구소)

Distribution of *Coreoperca kawamebari* and *C. herzi* and Fish Community Structure in Relation to Environmental Differences in Their Sympatric Area of the Boseong River, Korea. Kim, Seog Hyun, Sang Hun Lee¹, Wan-Ok Lee² and Kang-Hyun Cho* (Department of Biological Sciences, Inha University, Incheon 402-751; ¹Department of Environmental Planning, Seoul National University, Seoul 151-742; ²Inland Fisheries Research Institute, NFRDI, Gapyeong 477-815, Korea)

The distribution of *Coreoperca kawamebari* was known to be restricted to the Tamjin River and several small streams flowing into the southern part of the West Sea, while *C. herzi* was widely distributed throughout South Korea except the areas inhabited by *C. kawamebari*; the two species were known to be allopatric. However, we found that both species were sympatric in the Boseong River, a tributary of the Seomjin River, and the Jiseok Stream, a tributary of the Yeongsan River. Local-scale distribution of the two *Coreoperca* species, fish assemblages, and environmental variables were surveyed to investigate effects of environmental factors on fish community structures in the Boseong River. Rank abundance distribution of fish community at the study sites indicated that fish species diversity and distribution pattern of the two *Coreoperca* species were closely related to habitat diversity. The result of canonical correspondence analysis showed that *C. kawamebari* was distributed in pool areas while *C. herzi* was found in the areas with higher water velocity and boulder substrate. These results suggested that species diversity of fish community decreased and only one of the two *Coreoperca* species inhabited at the sites with less diverse habitat, but on the other hand, high habitat diversity increased species diversity and allowed the two species to coexist.

Key words : habitat, ordination, rank abundance distribution, species diversity, water velocity, substrate

* Corresponding author: Tel: +82-32-860-7698. Fax: +82-32-874-6737. E-mail: khcho@inha.ac.kr

서 론

하천에서 어류의 종조성과 수도는 지리적 위치, 진화 역사, 물리적 서식지, 수질 및 생물학적 상호관계 등에 영향을 받는다(Poff *et al.*, 1997; Taylor *et al.*, 2006). 이 중에서 서식지 물리 환경 요인으로서 유속, 수심, 하상구조, 식생 등이 중요하고(Gorman and Karr, 1978; Angermeier and Karr, 1983; Poff and Allan, 1995; Rowe *et al.*, 2009), 수질로서 수온, 용존산소, 부유물질, 독성물질, 영양소, 오염물질 등이 주요 물리화학적 요인이다(Lenat and Crawford, 1994; Meador and Goldstein, 2003). 이들 환경 요인은 개별적 또는 복합적으로 어류의 서식지 선택과 군집 구조에 영향을 미친다(Jackson *et al.*, 2001; Taylor *et al.*, 2006).

한편 생물의 서식지 선택에 있어서 중요한 개념인 생태적 지위(niche)는 다차원 공간에서 다양한 무생물 환경요인과 생물간의 상호작용에 의하여 결정된다(Hutchinson, 1957; Jackson *et al.*, 2001). 생태적 지위가 유사한 종은 중간경쟁에 의하여 서식지를 완전히 달리하거나, 자원 또는 미소서식지(microhabitat)를 분리함으로써 동일한 서식지에서 공존할 수 있다(Hardin, 1960; Nilsson, 1967; Ross, 1986). 이처럼 계통학적 또는 생태학적으로 유사한 종이 중간 상호작용에 의하여 서식지 이동(habitat shift)이 일어나고 서식지가 분리되어 공서(sympatry)할 수 있다(Sone *et al.*, 2001).

국외 하천에서 계통학적으로 유사한 어류 종을 대상으로 공서 수역에서 자원 및 서식지 분리에 대한 연구가 연어과 어류를 중심으로 활발히 진행되었는데, 연어과 어류는 부분적으로 서식지 이용의 분화에 의하여 장기간 공존이 촉진되었다(Hearn, 1987). 이밖에 다른 과에 속하는 어류에 대한 연구에서는 미국 중동부에서 *Etheostoma* 속의 여러 종이 이질적인 서식지 환경에서 경쟁에 의하여 먹이활동에 대한 미소서식지를 분리하여 공존함을 확인하였다(Greenberg 1988; Henry and Grossman, 2008; Pratt and Lauer, 2013). 또한 캘리포니아 하천에서 독중개속 *Cottus*의 두 종이 유속과 수심에 따라서 서식지를 뚜렷하게 분리하였다(White and Harvey, 1999). 일본 Shikoku에서 공서하는 밀어속 *Rhinogobius*의 두 가지 유형(type)이 유속과 하상구조에 의하여 서식지를 분리하였다(Sone *et al.*, 2001). 우리나라에서는 유속에 의하여 참갈겨니의 두 가지 유형이 서식지를 분리하였으며(Chae and Yoon, 2010), 수온에 의한 연준모치와 금강모치의 서식지 분리가 보고되었다(Baek *et al.*, 2002).

우리나라에 깍지속 *Coreoperca* 어류는 깍저기 *C. kawamabari*와 깍지 *C. herzi*의 2종이 분포하고 있다(Chyung, 1977; Kim and Park, 2002; Kim *et al.*, 2005). 깍저기와 깍지는 유전적으로 분화되어 있고(Okazaki and Jeon, 1996), 형태적으로 체고, 눈의 크기, 양안 간격과 측선비늘 수에서 차이를 보인다(Kim *et al.*, 2005). 또한 두 종의 초기 생활사와 산란 습성이 다른 것으로 알려져 있다(Park *et al.*, 1997; Han *et al.*, 1998; Han *et al.*, 2000). 그러나 이들의 서식지 특성 등의 생태적 특징에 대한 연구는 많지 않은데, 두 종은 모두 작은 물고기, 수서곤충 등을 먹는 육식성 어류(Park *et al.*, 1997; Kim and Park, 2002)로서 유사한 생태적 지위를 가질 것으로 생각된다.

한편 깍저기와 깍지의 국내 분포지를 살펴보면, 깍저기는 탐진강, 낙동강, 거제도 등에 제한적으로 분포하는 반면, 깍지는 한국 고유종으로 전국의 여러 하천에 분포한다고 보고되어 있었다(Kim and Park, 2002; Kim *et al.*, 2005). 그러나 최근까지 실제로 두 종이 동시에 서식하는 공서 수역이 발견되지 않았다(Jeon, 1986; Song and Lee, 1989; Jeon and Kim, 1996; Son and Song, 1998; Kim *et al.*, 2001). 본 저자들이 깍저기의 주요 서식지인 탐진강과 인접 하천을 대상으로 깍저기와 깍지의 분포를 정밀하게 조사한 결과 이들의 공서 수역을 발견할 수 있었다.

그러므로 본 연구에서는 새로 발견된 깍저기와 깍지의 공서 하천인 보성강 상류 수역에서 하천 환경 차이에 따른 이들 두 종의 분포와 어류 군집 구조의 변화를 파악하기 위하여, 두 종의 수도 비율이 다른 하천 구간을 선정하여 어류의 종조성과 종별 개체수를 조사하고 어류 군집 구조에 영향을 미칠 것으로 예상되는 서식지 물리 환경과 수질 환경 요인을 측정하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 선정

현장조사는 깍저기와 깍지의 공서 수역으로 밝혀진 전라남도 보성군과 장흥군에 위치한 보성강 상류에서 2011년 9월 17~19일, 2012년 2월 17~19일, 4월 18~20일, 10월 5~7일의 총 4회 실시하였다. 이 하천에서 깍저기와 깍지의 상대적 수도가 상이한 5곳의 조사지를 선정하였다. 각 조사지에서 수로를 따라서 100~150 m의 하천구간에서 어류를 채집하고 환경을 조사하였다. 선정된 5개 조사지의 행정구역, 위도 및 경도는 다음과 같다(Fig. 1).

St. 1: 전남 장흥군 장평면 기동리 (34° 47'40.9"N, 126°

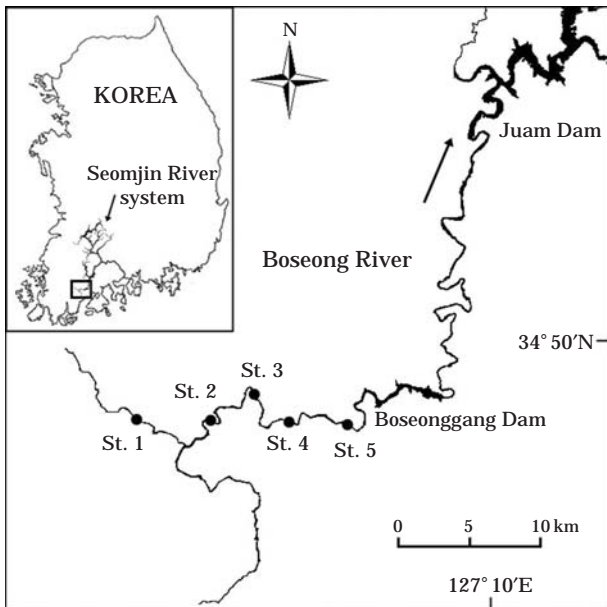


Fig. 1. Map showing the study area. The closed circles indicate the study sites of *Coreoperca kawamebari* and *C. herzi* in the Boseong River, Korea.

57°06.5"E)

St. 2: 전남 장흥군 장평면 녹양리 (34° 47'33.6"N, 127° 00'05.7"E)

St. 3: 전남 보성군 노동면 옥마리 (34° 48'27.2"N, 127° 01'33.5"E)

St. 4: 전남 보성군 노동면 대련리 (34° 47'33.4"N, 127° 03'02.0"E)

St. 5: 전남 보성군 보성읍 용문리 (34° 47'20.9"N, 127° 05'23.8"E)

2. 현장 조사

선정된 조사지에서 어류를 정량 채집하기 위하여 1회 조사 시 투망(망목 7×7 mm)을 15회 투척하고 죽대(망목 4×4 mm)를 30분간 사용하여 채집하였다. 채집된 어류는 현장에서 동정하고 계수한 후에 방류하였다. 어류의 동정은 Kim and Park (2002)과 Kim *et al.* (2005)을 따랐다.

어류를 채집한 조사지에서 하천 환경은 2012년 10월 5~7일에 조사하였다. 미국 환경청의 하천 표준 조사법 (Lazorchak *et al.*, 1998; Barbour *et al.*, 1999)을 참조하여 총 16개의 환경 요인을 측정하였다 (Table 1). 각 조사지에서 등간격으로 5곳에 횡단면을 설치하고 각 단면을 따라서 2 m 간격으로 유속, 수심 및 하상구조를 측정하였

다. 유속은 유속계 (Flowwatch, JDC Electronic SA, 스위스)를 사용하여 수심의 60% 지점에서 측정하였다. 하상구조는 Cummins (1962)의 방법을 참조하여 각 조사지에서 50×50 cm 방형구를 설치하고 방형구 내에서 가장 우세한 하상 입자를 기록하였다. 각 단면의 평균 유속과 평균 수심을 다시 평균하여 조사지의 대표치로 산출하였다. 하상구조의 조사지 대표치는 각 단면에서 하상입자의 상대적 빈도를 구하고 이 빈도를 전체 조사지에서 평균하여 산출하였다. 조사지의 저수로 폭은 5개의 횡단면에서 측정하여 평균하였다. 하천수의 이화학적 특성은 휴대용 수질측정기 (YSI 556 MPS, YSI Inc., 미국)를 사용하여 수온, 용존산소, pH 및 전기전도도를 각 조사지의 가장 하류에 위치한 횡단면의 중앙에서 측정하였다.

저수로의 식생 분포는 침수식물, 정수식물 및 목본식물 (overhanging tree)의 3가지 식생형으로 구분하여 조사하였다. 침수식물은 각 횡단면에서 5개 지점을 동일 간격으로 선정하여 1×1 m 방형구를 설치하고 피도를 측정하였다. 하안의 정수식물과 물 위로 드리운 목본식물은 각 횡단면의 양안에서 상·하류 5 m의 구간을 관찰하여 각 식생유형별로 피도를 측정하였다.

3. 자료 처리

각 조사지별 어류 군집 구조를 분석하기 위하여 종별 개체수를 이용하여 Shannon-Weaver 다양도지수 (Shannon and Weaver, 1949)를 산출하고, 순위 수도 분포 (rank abundance distribution, RAD)를 분석하였다 (Whittaker, 1965; Wilson, 1991). 순위 수도 분포는 R 환경 (ver. 2.14.0) (R Development Core Team, 2011)에서 Vegan package (Oksanen, 2011)의 'radfit' 함수를 사용하여 분석하였다. 순위 수도 분포의 유형은 구간분할 (broken stick) (MacArthur, 1957), 선점 (preemption) (Motomura, 1932), 대수 정규 (lognormal) (Preston, 1948), Zipf (Zipf, 1949), Zipf-Mandelbrot (Mandelbrot, 1965)의 5개 모델 중에서 Akaike 정보 기준 (Akaike's information criteria, AIC)이 가장 작은 것을 최적 모델로 선정하였다. 또한 순위 수도 분포에서 곡선의 평균기울기 (AS)는 다음 식을 이용하여 구하였다.

$$AS = \frac{|\log S_n - \log S_1|}{n-1}$$

여기에서 n 은 총출현종수, S_1 은 첫 번째 순위에 있는 종의 개체수, S_n 은 n 번째 순위에 있는 종의 개체수이다.

꺾저기와 꺾지의 상대수도 및 어류 군집 구조의 특성

Table 1. Local-scale environmental variables at the study sites of *Coreoperca kawamebari* and *C. herzi* in the Boseong River in October 2012 (mean \pm SD, range in parenthesis, n=5).

Environmental variable	Abbreviation	Study site*				
		St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5
Water parameter						
Water temperature (°C)**	WT	19.5	19.2	19.3	19.2	20.5
Dissolved oxygen (mg L ⁻¹)**	DO	8.3	8.9	8.2	8.9	8.6
pH**	PH	7.2	7.5	7.4	7.7	7.6
Electrical conductivity (μ S cm ⁻¹)**	EC	71	72	71	71	72
Water velocity (m s ⁻¹)	WV	0.01 \pm 0.02 (0 ~ 0.05)	0.31 \pm 0.34 (0.04 ~ 0.74)	0.35 \pm 0.30 (0.05 ~ 0.78)	0.71 \pm 0.32 (0.43 ~ 1.25)	0.23 \pm 0.04 (0.18 ~ 0.29)
Stream morphology						
Channel width (m)	CW	19 \pm 7 (14 ~ 32)	29 \pm 8 (20 ~ 38)	46 \pm 21 (18 ~ 64)	32 \pm 4 (26 ~ 38)	48 \pm 29 (18 ~ 94)
Water depth (cm)	WD	54 \pm 12 (45 ~ 79)	59 \pm 29 (26 ~ 96)	56 \pm 7 (51 ~ 66)	47 \pm 13 (34 ~ 68)	79 \pm 30 (45 ~ 126)
Substratum***						
Mud (< 0.1 mm) (%)	MD	14 \pm 10 (0 ~ 25)	0	4 \pm 8 (0 ~ 18)	0	0
Sand (0.1 ~ 2 mm) (%)	SD	15 \pm 7 (6 ~ 22)	14 \pm 10 (0 ~ 25)	18 \pm 14 (0 ~ 32)	3 \pm 8 (0 ~ 17)	10 \pm 8 (0 ~ 17)
Gravel (2 ~ 16 mm) (%)	GV	25 \pm 5 (22 ~ 33)	14 \pm 12 (0 ~ 27)	22 \pm 9 (11 ~ 31)	6 \pm 6 (0 ~ 13)	16 \pm 12 (0 ~ 30)
Pebble (16 ~ 64 mm) (%)	PB	26 \pm 9 (13 ~ 33)	28 \pm 18 (5 ~ 54)	29 \pm 15 (11 ~ 50)	18 \pm 5 (11 ~ 25)	40 \pm 37 (2 ~ 100)
Cobble (64 ~ 256 mm) (%)	CB	12 \pm 12 (0 ~ 25)	14 \pm 14 (0 ~ 30)	9 \pm 12 (0 ~ 25)	31 \pm 6 (22 ~ 38)	18 \pm 12 (0 ~ 28)
Boulder (> 256 mm) (%)	BD	8 \pm 11 (0 ~ 22)	30 \pm 19 (0 ~ 50)	18 \pm 29 (0 ~ 67)	43 \pm 12 (25 ~ 57)	16 \pm 27 (0 ~ 62)
In-stream cover by vegetation						
Area covered by submerged macrophytes (%)	SM	0	0	39 \pm 32 (0 ~ 82)	0	12 \pm 9 (0 ~ 24)
Riverline covered by emergent macrophytes (%)	EM	71 \pm 29 (25 ~ 100)	67 \pm 19 (35 ~ 85)	84 \pm 17 (65 ~ 100)	0	52 \pm 29 (0 ~ 70)
Riverline covered by overhanging tree canopy (%)	OT	14 \pm 18 (0 ~ 40)	19 \pm 14 (10 ~ 45)	13 \pm 14 (0 ~ 30)	0	0

*Relative abundances of *C. kawamebari* to *C. herzi* were 1 : 0 at St. 1, 0.8 : 0.2 at St. 2, 0.5 : 0.5 at St. 3, 0 : 1 at St. 4 and 0.2 : 0.8 at St. 5.

**Water chemical variables were measured once at the most downstream transect of each study site.

***Substratum classification by Cummins (1962).

과 환경 요인 사이의 관계를 분석하기 위하여 다변량분석인 정준대응분석 (canonical correspondence analysis, CCA) (ter Braak, 1986; ter Braak and Verdonschot, 1995)을 실시하였다. 정준대응분석은 R 환경 (ver. 2.14.0) (R Development Core Team, 2011)에서 Vegan package (Oksanen, 2011)를 사용하였다. 분석용 자료는 전체 조사 기간에서 채집된 어종별 총개체수를 $\log(S+1)$ 로 전환하여 사용하였으며, 한 조사지에서만 출현한 종은 분석에서 제외하였다. 서식지 환경 요인 자료로는 2012년 10월에 조사한 총 16개 항목을 사용하였다 (Table 1), 조사지 환

경 요인과 CCA축과의 상관관계를 분석하기 위하여 함수 Vegan package (Oksanen, 2011)의 함수 'envfit'를 사용하여 상관계수와 유의수준을 산출하였다.

결 과

1. 서식지 환경

꺼저기와 꺼지의 공서 수역인 보성강의 조사지에서 하천 환경 특성은 Table 1과 같다. 5개 조사지에서 수온, 용

존산소, pH 및 전기전도도는 유사하였다. 상류 수역인 St. 1은 저수로 폭이 평균 19 m로 다른 조사지보다 좁았다. 이곳의 상류와 하류에 보가 위치하고 있어서 유속이 0.01 m s⁻¹로서 정수 수역이 넓게 형성되어 있었다. 하상은 주로 왕자갈 (pebble)과 잔자갈 (gravel)로 이루어져 있었으나 식생이 밀집한 하안 쪽으로는 모래 (sand)와 진흙 (mud)이 깔려 있었다. 이곳에서는 침수식물은 발달하지 않았으나 물가를 따라서 정수식물인 달뿌리풀과 줄이, 그

리고 목본식물인 버드나무류가 분포하고 있었다. 조사지 St. 2와 St. 3에서는 저수로 폭이 넓은 정수 수역과 저수로 폭이 좁은 여울 구간이 연속적으로 반복되었다. 저수로 폭과 여울 구간은 St. 3이 St. 2보다 넓었다. 하상구조는 St. 2에서 호박돌 (boulder)과 왕자갈이, St. 3에서는 왕자갈과 잔자갈이 우세하였다. 하안의 정수식물은 St. 2와 St. 3에서 모두 발달하였으나, 검정말, 대가래, 민나자스말의 침수식물은 St. 3에만 넓게 분포하였다. 조사지

Table 2. Individual number of fishes collected at the study sites in the Boseong River from September 2011 to October 2012.

Species	Abbreviation	Study site					Total	Relative abundance (%)
		1	2	3	4	5		
<i>Coreoperca kawamebari</i>	<i>Ck</i>	58	14	43		4	119	5.93
<i>Coreoperca herzi</i>	<i>Ch</i>		4	49	14	18	83	4.13
<i>Zacco platypus</i>	<i>Zp</i>	140	144	87	20	151	542	26.99
<i>Zacco koreanus</i>	<i>Zk</i>		66	143	53	16	278	13.84
<i>Pungtungia herzi</i>	<i>Ph</i>	1	31	66	20	35	153	7.62
<i>Acheilognathus koreensis</i>	<i>Ak</i>		22	60	11	53	146	7.27
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	<i>Cs</i>		46	28	16	1	91	4.53
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	<i>My</i>	2	43	14		29	88	4.38
<i>Rhodeus uyekii</i>	<i>Ru</i>	60	4	10		1	75	3.74
<i>Zacco temminckii</i>	<i>Zt</i>	54	17	1			72	3.59
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>	<i>Sv</i>		1	40	4	4	49	2.44
<i>Acheilognathus majusculus</i>	<i>Am</i>		7	19		15	41	2.04
<i>Odontobutis interrupta</i>	<i>Oi</i>	13	2	11	1	5	32	1.59
<i>Cobitis tetralineata</i>	<i>Ct</i>	7	6	9		7	29	1.44
<i>Liobagrus mediadiposalis</i>	<i>Lm</i>		8	14	4		26	1.29
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	<i>Al</i>	9		2		11	22	1.10
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	<i>Sg</i>	15		7			22	1.10
<i>Hemibarbus longirostris</i>	<i>Ho</i>	1		5		15	21	1.05
<i>Pseudobagrus koreanus</i>	<i>Pk</i>			16	1	2	19	0.95
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>	<i>Sc</i>	3	7			7	17	0.85
<i>Odontobutis platycephala</i>	<i>Op</i>			12	3	1	16	0.80
<i>Rhinogobius brunneus</i>	<i>Rb</i>	6		3		6	15	0.75
<i>Pseudogobio esocinus</i>	<i>Pe</i>		2	2	3	1	8	0.40
<i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i>	<i>Sn</i>			3		2	5	0.25
<i>Hemibarbus labeo</i>	<i>Ha</i>			2		2	4	0.20
<i>Carassius auratus</i>	<i>Ca</i>			1		2	3	0.15
<i>Iksookimia longicorpa</i>	<i>Ik</i>	1		1		1	3	0.15
<i>Rhodeus notatus</i>				7			7	0.35
<i>Rhodeus ocellatus</i>		7					7	0.35
<i>Lethenteron reissneri</i>				4			4	0.20
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>						4	4	0.20
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>				2			2	0.10
<i>Acanthorhodeus chankaensis</i>		1					1	0.05
<i>Acheilognathus rhombeus</i>						1	1	0.05
<i>Carassius cuvieri</i>				1			1	0.05
<i>Silurus asotus</i>						1	1	0.05
<i>Siniperca scherzeri</i>					1		1	0.05
Total number of species		16	17	30	13	27	37	
Total number of individuals		378	424	660	151	395	2,008	

St. 4는 여울 구간이 발달하였고 저수로 폭이 32 m로서 인근 상하류보다 좁았고 유속이 0.71 m s^{-1} 로서 조사지 중에서 가장 빨랐다. 하상구조는 호박돌과 잔돌 (cobble) 이 우세하여 전형적인 여울 구간의 특성을 가지고 있었다. 조사지 St. 4는 하천 공사로 인하여 환경이 매우 불안정하였고 식생이 분포하지 않았다. 조사지 St. 5는 상류에 보가 위치하고 있었으며, 보 직하류에는 정체 수역이 넓게 발달하였고 이곳 하류에는 폭이 좁은 여울 구간이 형성되어 있었다. 이곳에서 저수로 폭은 48 m, 수심은 79 cm로서 조사지 중에서 가장 넓고 깊었다. 하상구조는 왕자갈이 우세하였으며, 하안에는 정수식물 중에서 달뿌리 풀만 분포하였고 수중에는 침수식물인 대가래가 드물게 분포하고 있었다.

2. 군집 구조

1) 어류상 및 수도 분포

전체 조사지에서 채집된 어류는 총 9과 37종 2,008개체이었다 (Table 2). 피라미 *Z. platypus*가 상대수도 (relative abundance) 27%로서 우점종이었고, 참갈겨니가 14%로서 아우점종이었으며, 돌고기 *Pungtungia herzi*, 칼납자루 *Acheilognathus koreensis*, 꺾저기, 쉬리 *Coreoleuciscus splendidus*, 돌마자 *Microphysogobio yaluensis*, 꺾지의 순으로 상대수도가 높았다. 피라미는 모든 조사지에서 출현하였으며, 특히 조사지 St. 1, St. 2 및 St. 5에서 우점종이었다. 참갈겨니는 St. 1을 제외한 모든 조사지에서 출현하였으며, St. 3과 St. 4에서 우점종이었고, St. 2에서 아우점종이었다. 상류 수역이지만 정수 구간이 넓은 St. 1에서는 피라미 외에 각시붕어 *Rhodeus uyekii*, 꺾저기, 갈겨니 *Z. temminckii*가 우세하였다. St. 1을 제외한 나머지 조사지에서 돌고기와 칼납자루의 상대수도가 높았고 쉬리는 St. 2와 St. 4에서, 돌마자는 St. 2와 St. 5에서 상대수도가 높았다 (Table 2).

조사지별 꺾저기와 꺾지의 상대수도를 비교하면, 조사지 St. 1에서는 꺾저기만 출현하였고 조사지 중에서 이들 개체수가 가장 많았다 (Fig. 2). St. 2에서는 꺾저기가 78%, 꺾지가 22%로 꺾저기가 우세하였다. 조사지 St. 3에서는 두 종의 상대수도가 비슷하였고, 조사지 St. 4에서는 꺾지만 출현하였으며 조사지 St. 5에서는 꺾저기 18%, 꺾지 82%로서 꺾지가 우세하였다.

2) 종 다양성

조사지별 순위 수도 분포, 다양도지수 및 순위 수도 분포 곡선의 평균기울기는 Fig. 3에 나타내었다. 순위 수도 분포 곡선에 대한 모델의 적합성 판단을 위한 Akaike의

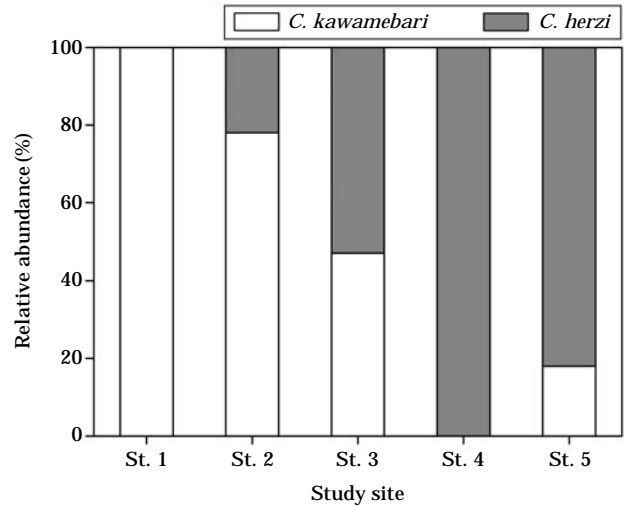


Fig. 2. Relative abundance of *Coreoperca kawamebari* and *C. herzi* at each study site in the Boseong River from September 2011 to October 2012.

정보 기준 값은 Table 3과 같다. 조사지 St. 1 (Fig. 3a)과 St. 4 (Fig. 3d)는 선점 모델이 적합하였으며 다양도지수는 각각 1.90과 2.00으로서 다른 조사지보다 낮았다. 조사지 St. 2 (Fig. 3b)와 St. 5 (Fig. 3e)에서는 대수정규 모델이 적합하였고, 다양도지수는 St. 2가 2.14, St. 5가 2.38로 St. 5가 다소 높았고, 곡선의 평균기울기는 St. 5가 0.081로서 St. 2의 0.127보다 완만하였다. St. 3 (Fig. 3c)에서는 Zipf-Mandelbrot 모델이 적합하였으며 다양도지수는 2.66으로서 조사지 중에서 가장 높았다.

3) 군집 구조

어류 군집 구조와 환경 요인을 분석한 정준대응분석 (CCA) 결과에 의하면, 1축과 2축의 고유값 (eigen value)은 각각 0.268 및 0.116이었으며, 두 축은 전체 변이의 80%를 설명하였다 (Fig. 4). 종의 배열을 살펴보면, 꺾저기 (*Ck*)는 각시붕어 (*Ru*), 긴물개 *Squalidus gracilis majimae* (*Sg*), 참물개 *Squalidus chankaensis tsuchigae* (*Sc*), 줄종개 *Cobitis tetralineata* (*Ct*), 얼룩동사리 *Odontobutis interrupta* (*Oi*) 등과 가까이 분포하였다. 반면에 꺾지 (*Ch*)는 칼납자루 (*Ak*), 쉬리 (*Cs*), 참중고기 *Sarcocheilichthys variegatus wakiyae* (*Sv*), 모래무지 *Pseudogobio esocinus* (*Pe*), 참갈겨니 (*Zk*), 자가사리 *Liobagrus mediadiposalis* (*Lm*), 동사리 *O. platycephala* (*Op*) 등과 가까이 위치하였다. 붕어 *Carassius auratus* (*Ca*), 중고기 *S. nigripinnis morii* (*Sn*), 누치 *Hemibarbus labeo* (*Ha*), 참마자 *H. longirostris* (*Ho*)는 2축의 아래에 위치하여 꺾저기, 꺾지와 분리되어 분포하였다.

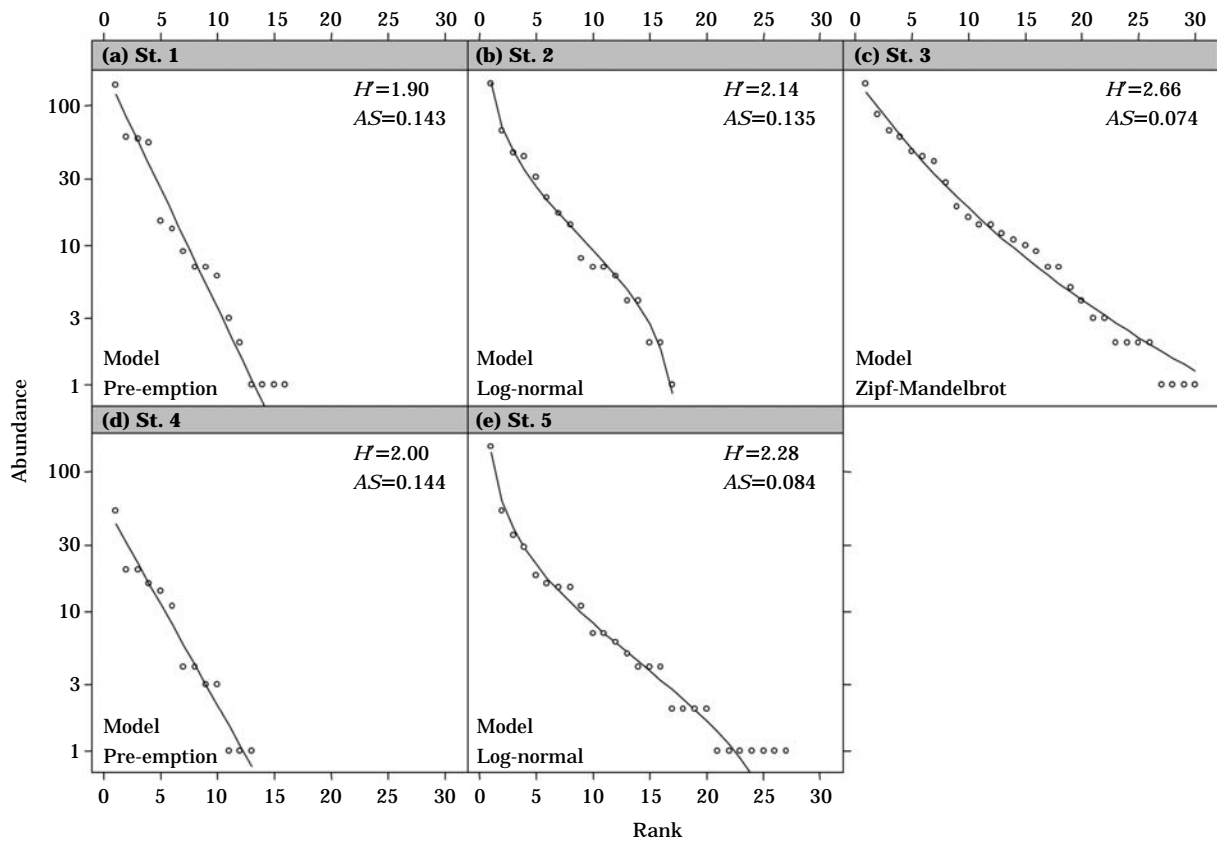


Fig. 3. Rank abundance distribution of fishes collected at each study site in the Boseong River from September 2011 to October 2012 (H , diversity index; AS , average slope). The horizontal axis indicates rank and the number of species, and the vertical axis indicates individual number of each ranked species by log-scale. The best fitted model was plotted into each study site.

Table 3. Akaike's information criteria (AIC) values of ranked abundance distribution curves for each model. The lowest AIC value of bold numeral indicates the best fitting model.

Model	Study site				
	1	2	3	4	5
Broken stick	187.260	137.811	228.996	62.966	271.994
Preemption	90.181	95.045	142.862	58.816	175.824
Lognormal	100.242	81.725	149.143	58.818	108.297
Zipf	128.655	103.958	213.959	67.843	113.940
Zipf-Mandelbrot	91.242	88.260	138.264	62.511	113.691

정준대응분석의 두 축과 상관관계가 높은 환경 요인은 유속 (WV) ($r^2=0.926$, $p=0.0421$, 1000번 치환에 기초), 저수로 폭 (CW) ($r^2=0.968$, $p=0.040$) 및 하상의 호박돌 (BD) ($r^2=0.943$, $p=0.076$)이었다 (Table 4). 이 중에서 유속은 1 축과 높은 상관관계를 보였고, 저수로 폭과 호박돌은 두 축 모두와 높은 상관관계를 나타내었다. 다른 환경 요인은 두 축에 대하여 유의한 상관관계를 나타내지 않았으나, 유속이 느린 곳에서는 하상이 잔자갈 (GV), 진흙 (MD) 및

모래 (SD)가 우세하며 하안식생인 목본식물 (OT)과 정수 식물 (EM)이 분포하고 있었다. 하류의 특성을 가진 조사지 St. 3과 St. 5에서는 침수식물 (SM)이 분포하였고, 최하류인 St. 5에서는 수심 (WD)이 깊고 수온 (WT)이 높으며 하상이 왕자갈 (PB)로 이루어졌다.

정준대응분석의 결과에서 꺾저기와 꺾지의 배열과 환경 요인의 관계를 살펴보면, 꺾저기는 유속이 느리며 하상에 호박돌의 비율이 낮은 곳에서 서식하는 반면, 꺾지

Table 4. The direction of biplot fitted environmental vectors of canonical correspondence analysis (CCA) axes, coefficient of determination (r^2) and significant levels (p) by permutation tests (refer to Table 1 for the abbreviation of variables).

Variables	Vectors		r^2	p
	Axis 1	Axis 2		
WT	-0.174	-0.985	0.629	0.295
DO	0.391	0.920	0.759	0.309
PH	0.998	-0.067	0.513	0.427
EC	0.599	-0.801	0.025	0.904
WV	0.962	0.274	0.926*	0.042
CW	0.645	-0.765	0.968*	0.040
WD	-0.057	-0.998	0.548	0.441
MD	-0.996	0.093	0.721	0.159
SD	-0.953	-0.303	0.169	0.805
GV	-0.921	-0.388	0.631	0.367
PB	-0.173	-0.985	0.683	0.299
CB	0.925	0.379	0.269	0.727
BD	0.799	0.601	0.943 [†]	0.076
SM	0.454	-0.891	0.326	0.709
EM	-0.943	-0.332	0.315	0.717
OT	-0.549	0.836	0.462	0.461

[†] $P < 0.1$, * $P < 0.05$

는 유속이 빠르고 하상에 호박돌이 많은 곳에 서식하는 것으로 나타났다 (Fig. 4). 또한 꺾저기와 꺾지의 출현 비율에 따라 조사지가 다르게 배열되었는데, 한 종만 출현한 조사지인 St. 1과 St. 4는 1축을 중심으로 양 끝에 배열된 반면, 두 종이 동시에 출현하였으나 한 종이 다른 종에 비해 우세하게 출현한 St. 2와 St. 5는 2축을 중심으로 양 끝에 배열되었다. 두 종의 출현 비율이 비슷한 St. 3은 중앙에 배열되었다.

고 찰

우리나라에서 꺾저기의 분포지는 낙동강, 거제도 및 탐진강과 그 주변 하천으로 알려져 있었으나 (Jeon, 1986; Jeon and Kim, 1996) 최근 그 분포지가 좁아지고 있다 (Fig. 5). 낙동강 수계에서는 꺾저기가 진주, 밀양, 고령, 경산, 안동에 분포하는 것으로 보고되었으나 (Mori, 1936, 1952), 1954년부터 최근까지 이곳에서 이 종의 분포를 확인하지 못하였다 (Jeon, 1986; Kim *et al.*, 2001). 그러므로 꺾저기의 낙동강 분포에 대한 재검토가 필요하다고 생각된다. 한편 거제도에서는 산양천에서 1982년까지 출현하였으나 (Jeon, 1986; Son and Song, 1998), 최근에는

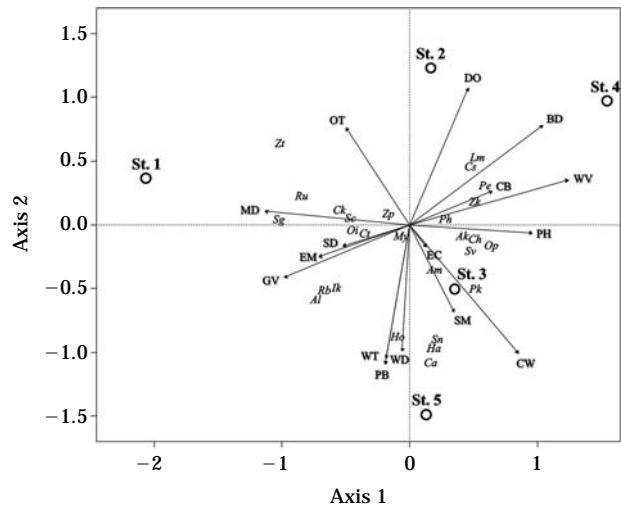


Fig. 4. Ordination biplot derived from the first two axes of canonical correspondence analysis (CCA) of the fish communities collected at the study sites in the Boseong River from September 2011 to October 2012. Eigen values of both axes are 0.268 and 0.116, explained 80.2% of total variation. The angles and lengths of the radiating arrows indicate the direction and strength of relationships of environmental variables with the ordination scores. Species abbreviations are provided in Table 2 and environmental variable abbreviations in Table 1.

절멸한 것으로 추정하고 있다 (NIBR, 2011). 섬진강에서는 Choi (1973)가 꺾저기가 분포하는 것으로 기록했으나, 그 후에는 서식이 확인되지 않고 있다 (Jeon, 1986; Jeon and Kim, 1996). 반면에 1980년대 이후에 서해 남부로 흐르는 전남 해남의 소하천인 삼산천, 구산천, 옥천천에서 꺾저기의 분포가 확인되었다 (Song and Lee, 1989; Jeon and Kim, 1996). 이상의 문헌조사 결과를 종합하면, 현재 꺾저기는 탐진강과 주변 하천으로 분포가 제한되어 있다.

분포지가 제한적인 꺾저기에 비하여 꺾지는 전국 대부분의 하천에 분포하는 것으로 알려져 있다 (Jeon, 1986; Kim and Park, 2002) (Fig. 5). 동해로 흐르는 하천 중에서 양양 남대천, 왕피천, 송천천에 꺾지가 분포하는 것으로 알려져 있었는데 (Jeon, 1986), 최근에는 고성 북천, 형산강, 태화강 등에서도 이들의 서식이 확인되었다 (Jang *et al.*, 2001; Kim and An, 2010; Lee *et al.*, 2010).

한편 꺾저기의 주분포지인 탐진강에서는 꺾지가 발견되지 않고 (Jeon, 1986), 꺾저기의 새로운 분포지로 알려진 삼산천, 구산천, 옥천천에서도 꺾지의 서식은 확인되지 않았다 (Song and Lee, 1989; Jeon and Kim, 1996). 따

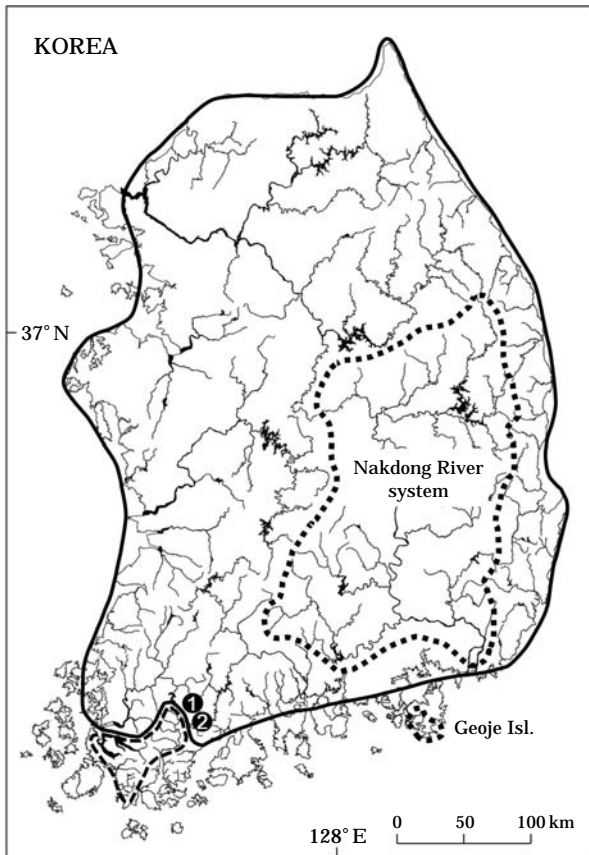


Fig. 5. Distribution of *Coreoperca kawamebari* and *C. herzi* in South Korea. The solid line indicates distribution area of *C. herzi* (Jeon, 1986; Jang *et al.*, 2001; Kim and Park, 2002; Kim and An, 2010; Lee *et al.*, 2010). The dotted line indicates distribution area of *C. kawamebari* in the Nakdong River system and the Geoje Island but recently not found (Jeon, 1986; Son and Song, 1998; NIBR, 2011). The dashed line indicates current distribution of *C. kawamebari* (Jeon, 1986; Song and Lee, 1989; Jeon and Kim, 1996). The closed circles indicate sympatric areas of both species newly found in the Jiseok Stream, a tributary of the Yeongsan River ①, and the Boseong River, a tributary of the Seomjin River ②.

라서 꺾저기와 꺾지의 공서 수역에 대하여 아직까지 보고되지 않았다.

본 연구자들이 2010년부터 2012년까지 꺾저기가 분포하는 것으로 알려진 전남 장흥군과 그 주변 하천을 조사한 결과, 기존의 분포지로 알려진 탐진강, 삼산천, 현산천을 포함하여 영산강의 지류인 지석천과 금천, 그리고 섬진강의 지류인 보성강에서 꺾저기의 서식을 확인할 수 있었다. 특히 지금까지 영산강과 보성강에서 꺾저기 서식에 대한 보고가 없었다 (Jeon, 1986; Song and Lee, 1987;

Choi and Hwang, 1991; Kim *et al.*, 1993; Seong *et al.*, 1997; Choi and An, 2008). 한편 보성강과 지석천에서는 꺾저기가 발견되어 이곳에서 최초로 꺾저기와 꺾지의 공서 수역을 발견하였다 (Fig. 5). 이중 보성강에서는 넓은 수역에서 두 종의 공서를 확인하였다. 이들 하천에서 꺾저기가 서식하는 곳은 하천 상류로서 지리적으로 탐진강 상류와 가까이 위치하고 있었다. 따라서 꺾저기가 새로 발견된 하천에서 서식하는 것에 대하여 일차적인 분포인지, 하천정달에 의한 것인지, 인위적인 이입에 의한 것인지에 대해 추후 탐문 조사와 유전자 분석 등의 정밀조사가 필요할 것으로 판단된다.

순위 수도 분포 또는 순위 수도 곡선은 종 다양성의 두 구성요소인 종 풍부도와 종 균등도를 동시에 나타낼 수 있는 방법이다 (Whittaker, 1965; Magurran, 2004). Wilson (1991)은 순위 수도 분포에 구간분할, 선점, 대수정규, Zipf, Zipf-Mandelbrot 등의 다양한 모델을 적용시켜서 군집 구조의 특성을 해석하였다. 조사지 St. 2와 St. 5는 대수정규 모델이 적합하였는데 (Fig. 3), 이 모델은 Preston (1948)이 제안한 것으로서 중간 경쟁에서 특별히 우세하거나 열세한 종이 많지 않고 자신의 기본 생태적 지위를 차지하는 종이 많다는 것을 의미한다 (Wilson *et al.*, 1996). 다만 분포 곡선의 평균기울기는 St. 5가 St. 2보다 완만하고 다양도지수가 St. 5에서 더 높았는데, 이는 St. 5가 St. 2보다 하류에 있고 하천 규모가 커서 보다 다양한 어류가 분포하기 때문인 것으로 추정된다. 이 두 조사지의 종 다양도는 St. 1과 St. 4보다 높았으나 St. 3보다는 낮았는데, 이는 두 조사지에서 정수 구간과 여울 구간이 모두 존재하지만, 이 두 환경 중에서 하나가 잘 발달하지 않았기 때문이라고 생각된다. 조사지 St. 3에서 적합한 모델은 Zipf-Mandelbrot 모델로서 이곳의 서식환경이 가장 다양하다는 것을 의미한다 (Fig. 3). Zipf-Mandelbrot 모델은 일반적으로 다양한 종이 서식할 기회가 많은 경우에 나타나는 유형이다 (Frontier, 1985). 결국 조사지 St. 3에서는 다양한 환경이 존재하여 다양한 종이 이곳에서 서식하는 것으로 추측할 수 있었다 (Wilson, 1991). 선점 모델 (Motomura, 1932)은 직선형 모델로서 단순한 환경 혹은 표본 크기가 작을 때 나타나는 형태였다 (Whittaker, 1965; Wilson, 1991). 이 선점 모델은 조사지 St. 1과 St. 4에 적합하였다 (Fig. 3). 조사지 St. 1에서는 정수 구간이, St. 4에서는 여울 및 유수 구간이 하천의 대부분을 차지하여 환경이 매우 단순하였고 종다양도지수 또한 가장 낮았다.

일반적으로 꺾저기는 중·하류 하천에서 유속이 완만하고 모래와 자갈이 깔려있으며 하안 식생이 발달한 환경을 선호하고, 산란을 위한 부착기질로서 식물 줄기를

이용하는 것으로 알려져 있다 (Jeon, 1986; Han *et al.*, 2000). 반면에 꺾지는 중·상류 하천에서 큰 돌이 깔려 있고 유속이 빠른 곳을 선호하고, 큰 돌 밑을 산란장소로 이용하는 것으로 알려져 있다 (Jeon, 1986; Park *et al.*, 1997; Han *et al.*, 1998). 본 연구의 정준대응분석 결과에 의하면, 꺾저기는 유속이 느린 곳에 분포하는 반면, 꺾지는 유속이 빠르고 하상구조가 호박돌로 구성된 곳에 분포하여 기존의 연구 결과와 유사하였다 (Fig. 4). 결국 꺾저기와 꺾지는 유속과 하상구조에 의하여 서식지가 분리되었는데, 하천 어류의 서식지 분리에서 이 두 환경 요인의 중요성은 많은 연구에서 보고되고 있다 (Ross, 1986). 예를 들면, 뉴질랜드 하천에서 공서하는 *Galaxias* 속 두 종은 유속에 의하여 서식지가 분리되었고 (Crow *et al.*, 2010), 미국 인디애나 하천에 서식하는 *Etheostoma* 속의 5종은 하상구조에 의하여 서식지를 달리하였다 (Pratt and Lauer, 2013). 또한 일본 Shikoku에서 밀어속 *Rhinogobius*와 우리나라에서 참갈겨니의 두 가지 유형이 유속에 의하여 서식지를 분리하였다 (Sone *et al.*, 2001; Chae and Yoon, 2010). 한편 꺾저기의 서식환경은 식생 분포와 연관성이 큰 것으로 알려져 있으나 (Jeon, 1986; Han *et al.*, 2000), 본 연구에서 정준대응분석에서는 식생이 꺾저기의 분포와 유의한 상관이 나타나지 않았다 (Fig. 4). 그러나 현장 관찰에 의하면, 꺾저기는 달뿌리풀 등의 수변식물이 밀생하는 저수로변을 따라서 주로 분포하고 있었다. 본 연구에서 조사지가 5곳에 불과하여 환경 요인과 꺾저기와 꺾지의 분포 사이의 관계를 규명하는데 한계가 있었고, 이를 보완하기 위하여 다양한 환경을 가진 다수의 조사지를 포함하는 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다.

하천생태계에서 서식지 다양성은 어류의 종다양성과 높은 연관성을 가지는데 (Gorman and Karr, 1978; Taylor *et al.*, 2006), 본 연구에서도 조사지의 환경에 따라 어류 군집 구조의 차이가 컸다 (Fig. 4). 유속이 느린 곳에 꺾저기와 함께 각시붕어, 긴물개, 참물개, 줄종개, 얼룩동사리 등의 정수성 어류가 분포하는 반면, 유속이 빠르고 하상이 호박돌로 구성된 곳에는 꺾지와 함께 쉬리, 참중고기, 모래무지, 참갈겨니, 자가사리, 동사리 등의 유수성 및 여울성 어류가 분포하였다. 또한 5개 조사지에서 유속과 하상구조의 서식지 환경이 다양하고 이질적으로 존재하는 곳에서 꺾저기와 꺾지가 공서하였고 어류 군집의 종다양성이 높았다. 그러나 이들 서식지 환경이 단순하고 균일하게 존재하는 조사지에서는 꺾저기와 꺾지가 이소(allopatry)하였고 종다양성이 낮았다.

본 연구는 공서 하천에서 환경 차이에 따른 꺾저기와

꺾지의 분포와 어류 군집의 차이를 확인할 수 있었으며, 중요한 환경 요인으로 유속과 하상구조로 확인되었다. 반면 두 종이 종간 상호작용에 의하여 서식지 분리 현상이 일어나는지에 대하여 체계적으로 판단할 수는 없었다. 따라서 이들의 서식지 분리 현상을 상세히 밝히기 위하여 미소서식지의 차이와 식성 조사 등의 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

적 요

꺾저기 *Coreoperca kawamebari*는 탐진강 및 인접 하천에 제한적으로 분포하는 반면, 꺾지 *C. herzi*는 전국의 여러 하천에 분포한다. 두 종의 공서 수역에 대해서 지금까지 보고되지 않았으나, 본 연구에서 섬진강의 지류인 보성강과 영산강의 지류인 지석천에서 두 종의 공서 수역을 확인하였다. 꺾저기와 꺾지의 공서 수역 내에서 하천 환경의 차이에 따른 두 종의 분포 양상과 어류 군집의 특성을 확인하기 위하여 2011년 9월부터 2012년 10월까지 보성강 상류 수역에서 환경 요인과 어류 군집을 조사하였다. 순위 수도 분포 분석에 의하면, 서식지 환경이 다양할수록 꺾저기와 꺾지의 출현 비율이 비슷할 뿐만 아니라 어류 군집의 종다양성이 높았다. 정준대응분석 결과에서 꺾저기는 정체 수역에 서식하는 반면, 꺾지는 하상이 호박돌로 이루어지고 유속이 빠른 환경에 서식하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 꺾저기와 꺾지의 서식지 환경이 상이하다는 것을 확인하였고, 하천의 서식지 환경이 단순하면 꺾저기나 꺾지 중 한 종만 출현하고 어류 군집의 종 다양성이 감소하였으며 서식지 환경이 다양하면 이들 두 종이 공존할 수 있고 종 다양성이 증가하는 것으로 파악되었다.

사 사

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원 (12기술혁신C02)에 의해 수행되었습니다.

인 용 문 헌

- Angermeier, P.L. and J.R. Karr. 1983. Fish communities along environmental gradients in a system of tropical streams. *Environmental Biology of Fishes* 9(2): 117-135.

- 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 Journal of Ichthyology* **14**(2): 121-131. (in Korean)
- Barbour, M.T., J. Gerritsen., B.D. Snyder and J.B. Stribling. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, 2nd ed. EPA 841-B-99-002, Washington, D.C.
- Chae, B.S. and H.N. Yoon. 2010. Habitat segregation between NE and NS type of *Zacco koreanus* (Cyprinidae). *Korean Journal of Ichthyology* **22**(1): 49-55. (in Korean)
- Choi, C.G. and Y.J. Hwang. 1991. On the fish communities of the Posong River. *Korean Journal of Limnological Society* **24**(3): 199-206. (in Korean)
- Choi, J.W. and K.G. An. 2008. Characteristics of fish compositions and longitudinal distribution in Yeongsan River watershed. *Korean Journal of Limnological Society* **41**(3): 301-310. (in Korean)
- Choi, K.C. 1973. On the geographical distribution of Freshwater fishes south of DMZ in Korea. *Korean Journal of Limnological Society* **6**(3): 29-36. (in Korean)
- Chyung, M.K. 1977. The Fishes of Korea. Il-Ji Sa Publishing Company, Seoul. (in Korean)
- Crow, S.K., G.P. Closs, J.M. Waters, D.J. Booker and G.P. Wallis. 2010. Niche partitioning and the effect of interspecific competition on microhabitat use by two sympatric galaxiid stream fishes. *Freshwater Biology* **55**(5): 967-982.
- Cummins, K.W. 1962. An evolution of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. *American Midland Naturalist* **67**(2): 477-504.
- Frontier, S. 1985. Diversity and structure in aquatic ecosystems. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* **23**: 253-312.
- Gorman, O.T. and J.R. Karr. 1978. Habitat structure and stream fish communities. *Ecology* **59**(3): 507-515.
- Greenberg, L.A. 1988. Interactive segregation between the stream fishes *Etheostoma simoterum* and *E. rufilineatum*. *Oikos* **51**(2): 193-202.
- Han, K.H., J.T. Park, B.M. Kim, S.H. Oh, S.H. Lee and D.S. Jin. 2000. Spawning behavior and early life history of Aucha perch, *Coreoperca kawamebari* from Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **12**(2): 129-136. (in Korean)
- Han, K.H., J.T. Park, G.H. Jung, W.K. Lee, J.Y. Lee and I.C. Bang. 1998. Spawning behavior and early life history of Korean Aucha perch, *Coreoperca herzi* Herzenstein. *Journal of Aquaculture* **11**(1): 49-58. (in Korean)
- Hardin, G. 1960. The competitive exclusion principle. *Science* **131**(3409): 1292-1297.
- Hearn, W.E. 1987. Interspecific competition and habitat segregation among stream-dwelling trout and salmon: A review. *Fisheries* **12**(5): 24-31.
- Henry, B.E. and G.D. Grossman. 2008. Microhabitat use by blackbanded (*Percina nigrofasciata*), turquoise (*Etheostoma inscriptum*), and tessellated (*E. olmstedii*) darters during drought in a Georgia piedmont stream. *Environmental Biology of Fishes* **83**(2): 171-182.
- Hutchinson, G.E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* **22**: 415-427.
- Jackson, D.A., P.R. Peres-Neto and J.D. Olden. 2001. What controls who is where in freshwater fish communities the roles of biotic, abiotic, and spatial factors. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **58**(1): 157-170.
- Jang, M.H., K.R. Choi and G.J. Joo. 2001. Fish community of headwater streams in Gaji Mountain, Ulsan. *Korean Journal of Limnological Society* **34**(3): 239-250. (in Korean)
- Jeon, S.R. 1986. Studies on the key and distribution of seranid peripheral fresh-water fishes from Korea. *Bulletin of Sangmyung Women's University* **18**: 335-355. (in Korean)
- Jeon, S.R. and Y.J. Kim. 1996. First record of the *Coreoperca kawamebari* (Pisces: Serranidae) from Samsan-river and Kusan-river. *Korean Journal of Limnological Society* **29**(2): 97-101. (in Korean)
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. Freshwater Fishes of Korea. Kyo-Hak Publishing Co., Ltd., Seoul. (in Korean)
- Kim, I.S., Y. Choi and B.J. Kim. 2001. Percoidei Fishes of Korea. Junghaengsa, Seoul. (in Korean)
- Kim, I.S., Y. Choi, C.L. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. Kyo-Hak Publishing Co., Ltd., Seoul. (in Korean)
- Kim, J.H., H.W. Cho, W.D. Han and W.O. Lee. 1993. The change of fish communities by the change of ecosystem in the Posong River. *Korean Journal of Environmental Biology* **11**(2): 154-160. (in Korean)
- Kim, Y.P. and K.G. An. 2010. Evaluations of ecological habitat, chemical water quality, and fish multi-metric model in Hyeongsan River watershed. *Korean Journal of Limnological Society* **43**(2): 279-287. (in Korean)
- Lazorchak, J.M., D.J. Klemm and D.V. Peck. 1998. Environmental Monitoring and Assessment Program - surface Waters: Field Operations and Methods for Measuring the Ecological Condition of Wadeable Streams. EPA 620-R-94-004, Washington, D.C.
- Lee, W.O., M.H. Ko, J.M. Bak, D.H. Kim, H.J. Jeon and K.H.

- Kim. 2010. Characteristics of fish fauna and community structure in Buk Stream of Goseong, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **22**(4): 238-248. (in Korean)
- Lenat, D.R. and J.K. Crawford. 1994. Effects of land use on water quality and aquatic biota of three North Carolina Piedmont streams. *Hydrobiologia* **294**(3): 185-199.
- MacArthur, R.H. 1957. On the relative abundance of bird species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **43**(3): 293-295.
- Magurran, A.E. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science Ltd., Oxford.
- Mandelbrot, B. 1965. Information theory and psycholinguistics, pp. 350-368. *In: Scientific Psychology: Principles and Applications* (Wolman, B.A. and E.N. Nagel, eds.). Basic Books, New York.
- Meador, M.R. and R.M. Goldstein. 2003. Assessing water quality at large geographic scales: relations among land use, water physicochemistry, riparian condition, and fish community structure. *Environmental Management* **31**(4): 504-517.
- Mori, T. 1936. Studies on the geographical distribution of freshwater fishes in Chosen. *Bulletin of the Biogeographical Society of Japan* **6**(7): 35-61. (in Japanese)
- Mori, T. 1952. Check List of the Fishes of Korea. Hyogo University of Agriculture, Sasayama.
- Motomura, I. 1932. A statistical treatment of association. *Japanese Journal of Zoology* **44**: 379-383. (in Japanese)
- NIBR. 2011. Red Data Book of Endangered Fishes in Korea. National Institute of Biological Resources, Incheon. (in Korean)
- Nilsson, N.A. 1967. Interactive segregation between fish species, pp. 295-313. *In: The Biological Basis of Freshwater Fish Production* (Gerking, S.D. ed.). Blackwell Scientific Publication, Oxford.
- Okazaki, T. and S.R. Jeon. 1996. Genetic differentiation of the genus *Coreoperca* (Pisces: Serranidae) from Korea. *Korean Journal of Limnological Society* **29**(4): 387-391. (in Korean)
- Oksanen, J. 2011. Multivariate Analysis of Ecological Communities in R: Vegan Tutorial. <http://cc.oulu.fi/~jarioksa/>.
- Park, J.T., K.H. Han, I.C. Bang and G.H. Chung. 1997. Life history of the Korean perch, *Coreoperca herzi*. *Bulletin of the Marine Sciences Institute, Yosu National Fisheries University* **6**: 49-57. (in Korean)
- Poff, N.L. and J.D. Allan. 1995. Functional organization of stream fish assemblages in relation to hydrological variability. *Ecology* **76**(2): 606-627.
- Poff, N.L., J.D. Allan, M.B. Bain, J.R. Karr, K.L. Prestegard, B.D. Richter, R.E. Sparks and J.C. Stromberg. 1997. The natural flow regime. *BioScience* **47**(11): 769-784.
- Pratt, A.E. and T.E. Lauer. 2013. Habitat use and separation among congeneric darter species. *Transactions of the American Fisheries Society* **142**(2): 568-577.
- Preston, F.W. 1948. The commonness, and rarity, of species. *Ecology* **29**(3): 254-283.
- R Development Core Team. 2011. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Available: www.R-project.org.
- Ross, S.T. 1986. Resource partitioning in fish assemblages: a review of field studies. *Copeia* **1986**(2): 352-388.
- Rowe, D.C., C.L. Pierce and T.F. Wilton. 2009. Fish assemblage relationships with physical habitat in Wadeable Iowa streams. *North American Journal of Fisheries Management* **29**(5): 1314-1332.
- Seong, C.N., K.S. Baik, J.H. Choi, H.W. Cho and J.H. Kim. 1997. Water quality and fish community in streamlets of Juam Reservoir. *Korean Journal of Limnological Society* **30**(2): 107-118. (in Korean)
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana.
- Son, Y.M. and H.B. Song. 1998. Freshwater fish fauna and distribution in Kojedo, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **10**(1): 87-97. (in Korean)
- Sone, S., M. Inoue and Y. Yanagisawa. 2001. Habitat use and diet of two stream gobies of the genus *Rhinogobius* in south western Shikoku, Japan. *Ecological Research* **16**: 205-219.
- Song, T.K. and W.O. Lee. 1987. Freshwater fish fauna in the upper and middle streams of Yongsan River in Korea. *Bulletin of Institute of Littoral Biota* **4**(1): 81-90. (in Korean)
- Song, T.K. and W.O. Lee. 1989. The fish fauna of several streams in Haenam-gun, Chollanam-do. *Bulletin of Institute of Littoral Biota* **6**(1): 111-119. (in Korean)
- Taylor, C.M., T.L. Holder, R.A. Fiorillo, L.R. Williams, R.B. Thomas and M.L., Jr. Warren. 2006. Distribution, abundance, and diversity of stream fishes under variable environmental condition. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **63**(1): 43-54.
- ter Braak, C.J.F. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigen vector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* **67**(5): 1167-1179.
- ter Braak, C.J.F. and P.F.M. Verdonschot. 1995. Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Sciences* **57**(3): 255-287.
- White, J.L. and B.C. Harvey. 1999. Habitat separation of prickly sculpin, *Cottus asper*, and coastrange sculpin,

- Cottus aleuticus*, in the Mainstem Smith River, Northwestern California. *Copeia* **1999**(2): 371-375.
- Whittaker, R.H. 1965. Dominance and diversity in land plant communities: Numerical relations of species express the importance of competition in community function and evolution. *Science* **147**(3655): 250-260.
- Wilson, J.B. 1991. Methods for fitting dominance/diversity curves. *Journal of Vegetation Science* **2**(1): 35-46.
- Wilson, J.B., T.C.E. Wells, I.C. Trueman, G. Jones, M.D. Atkinson, M.J. Crawley, M.E. Dodd and J. Silvertown. 1996. Are there assembly rules for plant species abundance? An investigation in relation to soil resources and successional trends. *Journal of Ecology* **84**(4): 527-538.
- Zipf, G.K. 1949. Human Behaviour and the Principle of Least Effort. Addison-Wesley Publishing Co., Cambridge, MA.
- (Manuscript received 2 May 2013,
Revised 19 June 2013
Revision accepted 22 July 2013)