

벽계천의 어류군집 특성 및 멸종위기 4종의 서식양상^{1a}

김형수² · 고명훈^{3*}

Fish Community Characteristics and Distribution Aspect of Four Endangered Species in the Byekgye Stream, Korea^{1a}

HyeongSu Kim², Myeong-Hun Ko^{3*}

요약

벽계천의 어류군집 특성 및 멸종위기 4종의 서식 양상을 밝히기 위해 2020년 4월부터 9월까지 조사를 실시하였다. 조사기간 동안 7개 지점을 선정하여 조사한 결과, 채집된 어류는 9과 31종 3,415개체였다. 출현종 중 우점종은 참갈겨니 (*Zacco koreanus*, 31.2%), 아우점종은 피라미(*Z. platypus*, 15.0%), 다음으로 돌고기(*Pungtungia herzi*, 11.7%), 줄납자루(*Acheilognathus yamatsutae*, 5.4%), 납자루(*A. lanceolata intermedia*, 4.8%), 밀어(*Rhinogobius brunneus*, 4.4%), 가는돌고기(*Pseudopungtungia tenuicarpa*, 4.3%) 등의 순으로 우세하였다. 출현종 중 한국고유종은 19종(고유화율 61.3%)이었고, 기후변화민감종(냉수성 어종)은 금강모치(*Rhynchocypris kumgangensis*)와 독중개(*Cottus koreanus*) 2종이 확인되었다. 법정보호종은 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급인 묵납자루(*A. signifer*)와 가는돌고기, 한강납줄개(*Rhodeus pseudosericeus*), 독중개 4종이 출현하였으며, 주로 묵납자루와 가는돌고기는 중·하류에, 한강납줄개는 중류에, 독중개는 최상류에 서식하고 있었다. 이중 가는돌고기는 출현개체수가 가장 많았고, 전장빈도분포도로 연령을 추정할 결과, 7월기준 전장 24~35mm는 당년생, 54~75mm는 1년생, 82~97mm는 2년생, 104~109mm는 3년생 이상으로 추정되었다. 군집분석 중 우점도는 상류에서 높고 하류로 갈수록 낮아지는 경향을 보이거나 다양도와 균등도, 풍부도는 상류에서 낮고 하류로 갈수록 높아지는 경향을 보였다. 하천건강성(FAI)은 매우 좋음 5개 지점, 좋음 2개 지점으로 나타나 양호하였다. 벽계천은 비교적 서식지가 잘 보존되고 있었으나 멸종위기종이 많이 서식하는 중·하류부 일부는 하천공사가 진행되면서 서식지가 교란되고 있어 보존대책이 요구되었다.

주요어: 어류상, 군집구조, 어류건강성평가(FAI)

ABSTRACT

This study conducted a survey to investigate the characteristics of fish communities and the inhabiting status of endangered species in the Byekgye Stream, Korea from April to September 2020. A total of 3,415 fish of 9

1 접수 2023년 11월 13일, 수정 (1차: 2023년 12월 21일), 게재확정 2024년 1월 2일

Received 13 November 2023; Revised (1st: 21 December 2023); Accepted 2 January 2024

2 국립수산물품질관리원 양식연구과 해양수산연구소 Aquaculture Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan-si, 48513, Korea (kimk2k@korea.kr)

3 고수생태연구소 소장 Kosoo Biology Institute, 49 Mokdongjungangnamro14gagil, Yangcheon-gu, Seoul-si, 07955, Korea (hun7146@gmail.com)

a 이 논문은 2021년도 국립생태원 제5차 전국자연환경조사의 연구비 지원(NIE-A-2023-01) 및 국립수산물품질관리원 수산시험연구소업
활수산물 수출지역 확대를 위한 활컨테이너 수송기간 연장기술 개발(R2024050)에서 지원하는 연구비의 지원으로 수행된 연구임

* 교신저자 Corresponding author: hun7146@gmail.com

families and 31 species were collected from 7 survey stations during the survey period. The dominant species was *Zacco koreanus* (relative abundance of 31.2%), and the subdominant species was *Z. platytypus* (15.0%), followed by *Pungtungia herzi* (11.7%), *Acheilognathus yamatsutae* (5.4%), *A. lanceolata intermedia* (4.8%), *Rhinogobius brunneus* (4.4%), and *Pseudopungtungia tenuicorpa* (4.3%). Among the fish species collected, 19 (61.3%) were identified as Korean endemic species, and two cold-water fish species sensitive to climate change (*Rhynchocypris kumgangensis* and *Cottus koreanus*) were collected. Four species were designated as class II endangered wildlife by the Ministry of Environment: *A. signifer*, *P. tenuicorpa*, *Rhodeus pseudosericeus*, and *C. koreanus*. *A. signifer* and *P. tenuicorpa* mainly inhabited the mid to lower streams, *R. pseudosericeus* in the midstream, and *R. pseudosericeus* in the upstream. *P. tenuicorpa* inhabited in large numbers, and estimating the age by total length-frequency distribution in July, the total length of the 26-35 mm group was estimated as 0 years old, the 54-75 mm group as 1 year old, 82-97 mm group as 2 years old, 104-109 mm group as 3 years or older. The cluster analysis showed that the dominance index decreased from upstream to downstream, but the diversity, evenness, and richness index increased. The water quality of Byekgye Stream was evaluated as good overall since the river health (fish assessment index, FAI) using fish was evaluated as excellent (5 stations) and good (2 stations). Byekgye Stream has relatively well-preserved habitats, but conservation measures are required as habitats are disturbed by river repair work in some parts of the midstream and downstream areas where many endangered species inhabit.

KEY WORDS: FISH FAUNA, COMMUNITY STRUCTURE, FISH ASSESSMENT INDEX

서론

담수어류는 하천생태계의 먹이사슬 최상위 소비자로서 하천생태계를 대표하고 과거로부터 현재까지 이어진 지질학적 역사에 기인한 어류의 이동 및 종분화, 중간 생태적 상호작용 등을 통해 현재의 독특한 분포양상을 보인다(Nishimura, 1974; Kim, 1997; Moyle and Cech, 2000; Yoo *et al.*, 2016). 우리나라는 오랫동안 벼농사를 위한 치수관리용 관계시설이 설치되었고, 최근에는 저수지나 보, 댐, 하구둑 등이 많이 건설되었으며, 하천정비공사, 외래종의 도입, 상업종의 남획, 수질오염 등 인위적인 요인으로 인해 담수어류의 어류상 및 군집구조에 큰 영향을 미치고 있다(Jang *et al.* 2006; Kwater, 2007; NFRDI, 2010; NIBR, 2011; Ko *et al.*, 2017). 이러한 영향으로 많은 생물 다양성이 낮아지고 많은 종들의 서식지와 개체수가 감소하면서 멸종위기종으로 지정되거나 일부 종들은 절멸한 것으로 보고되고 있다(Sala *et al.*, 2000; NIBR, 2011; 2019; Han and Ko, 2023). 현재 우리나라의 환경부지정 멸종위기 어류는 I급에 11종, II급에 18종이 지정되어 법적으로 보호받고 있다(ME, 2022).

벽계천은 경기도 양평군 서종면에 위치하고, 용문산(해발 1,157m)에서 발원하여 북한강 하류부로 유입되며, 길이 26.91km, 유로연장 30.6km, 유역면적은 78.03km²인 지방2급

하천이다. 주위는 비교적 높은 산으로 둘러싸여 있어 경사가 급해 농경지가 적고, 주요 지류로 가일천, 명달천, 미세천 등이 있으며, 특별한 오염원이 없고 자연환경이 비교적 잘 보존되어 있다(Kwater, 2007). 벽계천 어류상에 대한 선행 연구는 전국자연환경조사의 일환으로 제2차(Lee and Kim, 1998)와 제3차(Yang and Lee, 2007a; 2007b; Song and Jeon, 2009)가 있는데, 제2차 조사에서는 환경부지정 멸종위기종 II급인 가는돌고기(*Pseudopungtungia tenuicorpa*)를 포함하여 6과 16종, 제3차 조사에서는 환경부지정 멸종위기종 II급인 가는돌고기와 독중개(*Cottus koreanus*)를 포함하여 9과 19종이 서식하는 것으로 보고되었다. 또한 어류 적색자료집에는 벽계천에 환경부지정 멸종위기어류 II급인 한강납줄개(*Rhodeus pseudosericeus*)와 가는돌고기, 독중개 3종이 서식하는 것이 보고되어 주목되었다(NIBR, 2019). 그러나 선행연구인 전국자연환경조사는 조사횟수가 1~2회로 적고 조사지점도 2~4지점으로 많지 않기 때문에 벽계천 전체에 서식하는 어류를 파악하기에는 한계가 있었고, 적색자료집의 자료는 단순한 분포만을 제시하기 때문에 어류상 및 어류군집을 파악하기에는 한계가 있었다.

따라서 본 조사는 벽계천의 어류상 및 어류군집, 하천건강성을 파악하고, 환경부지정 멸종위기어류인 한강납줄개와 가는돌고기, 독중개의 서식양상을 파악하며, 나아가 서식환경을 조사하여 어류 보존방안을 제시하고자 하였다.

연구방법

1. 조사 지점 및 기간

본 연구는 북한강 지류 벽계천에서 2020년 1차(4월 1~3일)와 2차(7월 10~12일), 3차(9월 13~15일)로 나누어 어류를 채집하고 서식지 환경을 조사하였다. 조사지점은 아래와 같이 여울과 소, 다양한 서식지가 포함되도록 벽계천의 최상류부터 하류까지 3~5km 간격으로 7개 지점을 선정하였다 (Figure 1). 다만 본 조사지점에 멸종위기종이 많이 서식하기 때문에 세부 위치를 알 수 있는 지점명이나 GPS 위치정보는 생략하였다.

- St. 1: 경기도 양평군 옥천면 용천리
- St. 2: 경기도 가평군 설악면 가일리
- St. 3: 경기도 가평군 설악면 방일리
- St. 4: 경기도 가평군 설악면 천안리
- St. 5: 경기도 양평군 서종면 수입리
- St. 6: 경기도 양평군 서종면 수입리
- St. 7: 경기도 양평군 서종면 수입리

2. 채집 및 조사방법

채집은 멸종위기 야생생물 II급인 한강납줄개와 묵납자루, 가는돌고기 등의 포획이 포함되어 한강유역환경청의 포획허가(제2020-11호)를 받은 후 실시하였다. 조사 지점별로 여울과 소를 포함한 200m 구간에서 투망(망목 6×6mm, 10회)과 족대(4×4mm, 30분)를 이용하여 채집하였다. 채집된 개체는 현장에서 육안으로 동정·개수한 후 생태계 보전을 위하여 바로 방류하였다. 어류의 동정은 Kim(1997), Kim *et al.*(2005), Kim and Park(2007) 등에 따랐으며 분류체계는 Nelson(2006)에 따라 목록을 정리하였다. 멸종위기종 한강납줄개와 묵납자루, 가는돌고기, 독중개의 전장빈도분포도를 파악하기 위하여 마취제(MS-222, Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 100ppm의 농도로 사용하여 전장을 측정한 이후 방류하였다. 전장빈도분포도는 채집 시기별로 Ricker(1971)에 따라 작성하여 성장도 및 서식양상을 파악하였다.

서식지 환경은 수문학적 환경과 이·화학적 환경으로 나누어 조사하였다. 수문학적 환경 중 하폭 및 유폭, 수심 등은 거리 측정용 망원경(Yardage pro Tour XL, BUSHNELL, Japan)과 줄자를 이용하여 측정하였으며, 하천형은 Kani (1944)의 방법에 따라, 하상구조는 Cummins(1962)의 방법으로 구분하였다. 또한 하천차수(stream order)는 하천건강

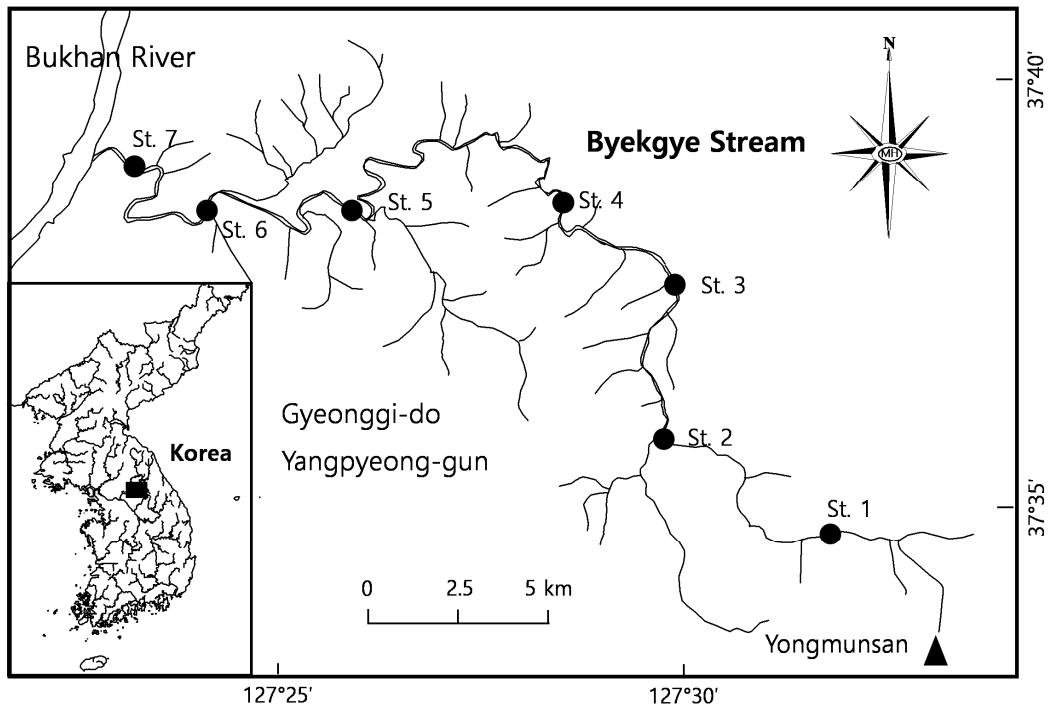


Figure 1. Study stations of Byekgye Stream, a tributary of the Han River Drainage System, Yangpyeong-gun, Gyeonggi-do, Korea.

성 평가 기준인 축척 1 : 120,000 기준으로 계산하였으며 (NIER, 2016; 2019), 고도는 Google Earth(Google Earth Pro, USA)의 정보를 이용하였다. 이·화학적 환경 중 기온과 수온은 디지털온도계(T-250A, ASAHI, Japan)를, 전기전도도(Conductivity)와 용존산소량(DO), pH, 염도 등은 수질측정기(HI-9828, Romania)를 사용하여 측정하였다.

어류의 군집 특성을 밝히기 위해 우점도(dominance index: DI)와 다양도(Diversity index: H), 균등도(Evenness index: E), 풍부도(Richness index: R) 지수를 산출하였다 (Margalef, 1958; McNaughton, 1967; Pielou, 1969; 1975). 군집구조는 조사지점별 출현 종과 개체수를 근거로 Primer 5.0(PRIMER E Ltd, UK)을 이용하여 Bray-Curtis 유사도를 계산한 후 도식화하였다. 조사지점들의 건강성은 우리나라 하천건강성평가를 위해 개발된 모델을 이용하여 하천차수(stream order)에 따라 8개의 매트릭(M1: 국내종의 총 종수, M2: 여울성 저서종수, M3: 민감종수, M4: 내성종의 개체수 비율, M5: 잡식종의 개체수 비율, M6: 국내종의 총식종 개체수 비율, M7: 채집된 국내종의 총 개체수, M8: 비정상종의 개체수 비율) 별로 값을 계산한 후 합산하여 어류생물지수(Fish assessment index, FAI)를 산출하였다. 산출된 어류생물지수는 매우 좋음(A, 80~100), 좋음(B, 60~80), 보통(C, 40~60), 나쁨(D, 20~40), 매우 나쁨(E, 0~20)으로 등급을 구분하였다(NIER, 2016).

벽계천의 어류상 비교는 선행조사인 전국자연환경조사 2차(Lee and Kim, 1998)과 3차(Yang and Lee, 2007a; 2007b; Song and Jeon, 2009)의 자료를 정리하여 비교하였다.

결과

1. 서식지 특성

벽계천 주변은 대부분 높은 산으로 둘러싸여 있어 산지가 많으며 하천 주변부에는 일부 농경지 및 민가가 있었다. 조사지점의 하폭은 100m 이내, 유폭은 70m 이내로 비교적 중소형의 하천이고 수심은 대체로 0.3~1.5m로 유사하였으며, 고도는 36~460m 범위였다. 하천차수(stream order)는 1~3차로 낮았고, 하천형은 대부분 계곡형(Aa type, St. 1~2) 또는 상류형(Aa-Bb type, St. 3~7)이었으며, 하상은 큰돌(boulder)과 돌(cobble)이 높은 비율을 차지하고 있었고 그 다음으로 자갈(gravel), 모래(sand), 잔자갈(pebble) 순이었다. 교란요인으로 St. 6에는 보가 설치되어 있었으며, 상류에서 하류 일대의 수역(St. 2~7)은 유원지로 사람의 출입이 많았다.

이화학적 환경 중 수온은 최상류인 St. 1이 최하류인 St. 7 보다 4~7°C가 낮았고 여름(7월), 가을(9월), 봄(4월) 순으로 높았다. 전기전도도와 염도는 각각 27~131 μ s/cm, 0.01~0.06ppt 범위로 낮았으며 동일하게 상류에서 하류로 가면서 조금씩 높아지는 경향을 보였다. 용존산소량은 4월 10.1~11.7mg/L, 7월 5.35~6.33mg/L, 9월 5.41~6.58mg/L로 지점간에는 큰 차이를 보이지 않았으나 계절별로는 큰 차이를 보였고, pH는 6.39~7.60로 어류가 서식하기에 적합한 상태였다.

2. 어류상

조사기간 동안 7개 지점에서 채집된 어류는 총 9과 31종 3,415개체였다(Table 2). 과별 출현종수는 잉어과(Cyprinidae)가 18종으로 가장 많았고, 그 다음으로 미꾸리과(Cobitidae)

Table 1. Physicochemical and hydrological environments at the study stations in the Byekgye Stream, Korea from April to September 2020

Stations	River width (m)	Water width (m)	Water depth (m)	River type*	Altitude (m)	Stream order	Bottom structure (%)**					Water temperature (°C)	Conductivity (μ s/cm)	Salinity (ppt)	DO (mg/L)	pH	Etc
							M	S	G	P	C						
1	10-12	2-4	0.3-1.0	Aa	460	1			10	20	70	8.6-17.9	27-33	0.01-0.02	5.5-11.7	6.39-7.60	
2	30-40	15-20	0.3-1.2	Aa	264	2				20	80	10.2-22.3	45-64	0.02-0.03	5.4-10.7	6.39-7.13	A
3	50-60	20-30	0.3-1.4	Aa-Bb	217	2			20	40	40	10.2-23.1	64-93	0.03-0.04	4.7-10.5	6.41-7.12	A
4	30-40	15-25	0.3-1.5	Aa-Bb	181	2		20	10	10	30	11.4-25.4	70-111	0.03-0.05	5.7-10.4	6.41-7.36	A
5	60-70	20-40	0.3-1.2	Aa-Bb	96	3			10	20	70	11.6-24.5	76-131	0.03-0.06	6.2-10.1	6.68-7.05	A
6	80-100	50-70	0.3-1.5	Aa-Bb	63	3		10	20	40	30	12.5-24.9	79-123	0.04-0.06	6.2-10.3	6.70-6.85	A,W
7	70-80	20-35	0.3-1.5	Aa-Bb	36	3			20	50	30	12.7-24.4	99-122	0.05-0.06	6.3-10.4	6.85-6.90	A

*River type: by Kani (1944); **M: mud (<0.1 mm), S: sand (0.1-2 mm), G: gravel (2-16 mm), P: pebble (16-64 mm), C: cobble (64-256 mm), B: boulder (256< mm) -modified Cummins (1962), ***A: amusement park, W: weir.

Table 2. List of fish species and number of individual fish collected in the Byekgye Stream, Korea from April to September 2020

Scientific name	Stations							Total	RA(%)*	Remarks**
	1	2	3	4	5	6	7			
Cyprinidae										
<i>Rhodeus pseudosericeus</i>			6	20		2		28	0.82	EnII, E
<i>Rhodeus notatus</i>							57	57	1.67	
<i>Acheilognathus lanceolata intermedia</i>							164	164	4.81	
<i>Acheilognathus signifer</i>					11	19	5	35	1.03	EnII, E
<i>Acheilognathus yamatsutae</i>							184	184	5.39	E
<i>Acheilognathus rhombeus</i>							6	6	0.18	
<i>Pungtungia herzi</i>		67	66	101	65	55	45	399	11.68	
<i>Pseudopungtungia tenuicorpa</i>				48	69	27	2	146	4.28	EnII, E
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>				6	12	30		48	1.41	E
<i>Squalidus gracilis majimae</i>					3	5		8	0.23	E
<i>Hemibarbus longirostris</i>				14	7	6	8	35	1.02	
<i>Pseudogobio esocinus</i>			1	14	9	13	3	40	1.17	
<i>Microphysogobio yaluensis</i>						20	32	52	1.52	E
<i>Microphysogobio longidorsalis</i>			18	10	4	2		34	1.00	E
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	49	7	7					63	1.84	
<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	123							123	3.60	E, C
<i>Zacco koreanus</i>		146	200	227	177	172	144	1,066	31.22	E
<i>Zacco platypus</i>			8	32	19	119	333	511	14.96	
Cobitidae										
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>			1					1	0.03	
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>			1	8	4		2	15	0.44	E
<i>Iksookimia koreensis</i>				8	12	28	5	53	1.55	E
Bagridae										
<i>Pseudobagrus koreanus</i>					2			2	0.06	E
Siluridae										
<i>Silurus microdorsalis</i>	2	1	1					4	0.12	E
Amblycipitidae										
<i>Liobagrus andersoni</i>			9		3	2		14	0.41	E
Cottidae										
<i>Cottus koreanus</i>	2							2	0.06	EnII, E, C
Centropomidae										
<i>Coreoperca herzi</i>		5	8	9	9	7	1	39	1.14	E
Odontobutidae										
<i>Odontobutis platycephala</i>		2		1		3		6	0.18	E
<i>Odontobutis interrupta</i>				1		2		3	0.09	E
Gobiidae										
<i>Rhinogobius brunneus</i>							151	151	4.42	L
<i>Tridentiger brevispinis</i>							102	102	2.99	
<i>Gymnogobius urotaenia</i>							24	24	0.70	
Number of individuals	176	228	326	499	406	512	1,268	3,415		
Number of species	4	6	12	14	15	17	18	31		

와 망둑어과(Gobiidae) 3종, 동사리과(Odontobutidae) 2종, 동자개과(Bagridae), 메기과(Siluridae), 통가리과(Amblycipitidae),

독중개과(Cottidae), 꺾지과(Centropomidae)는 각각 1종씩 출현하였다. 출현종 중 우점종은 참갈겨니(*Zacco koreanus*,

31.2%), 아우점종은 피라미(*Z. platypus*, 15.0%)였고, 그 다음으로 돌고기(*Pungtungia herzi*, 11.7%), 줄납자루(*Acheilognathus yamatsutae*, 5.4%), 납자루(*A. lanceolata intermedia*, 4.8%), 밀어(*Rhinogobius brunneus*, 4.4%), 가는돌고기(4.3%), 금강모치(*Rhynchocypris kumgangensis*, 3.6%) 등의 순으로 우세하였다(Figure 2). 법정보호종은 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급인 묵납자루(*A. signifer*), 가는돌고기, 한강납줄개, 독중개 4종이 출현하였다. 한국고유종은 한강납줄개, 묵납자루, 줄납자루, 가는돌고기, 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*), 긴몰개(*Squalidus gracilis majimae*), 돌마자(*Microphysogobio yaluensis*), 배가사리(*Microphysogobio longidorsalis*), 금강모치, 참갈겨니, 새코미꾸리(*Koreocobitis rotundicaudata*), 참중개(*Iksookimia koreensis*), 눈동자개(*Pseudobagrus koreanus*), 미유기(*Silurus microdorsalis*), 통가리(*Liobagrus andersoni*), 독중개, 꺾지(*Coreoperca herzi*), 동사리(*Odontobutis platycephala*), 얼룩동사리(*O. interrupta*) 등 19종(고유화율 61.3%)이 확인되었으며, 기후변화민감종(냉수성 어종)은 금강모치와 독중개 2종이 채집되었다.

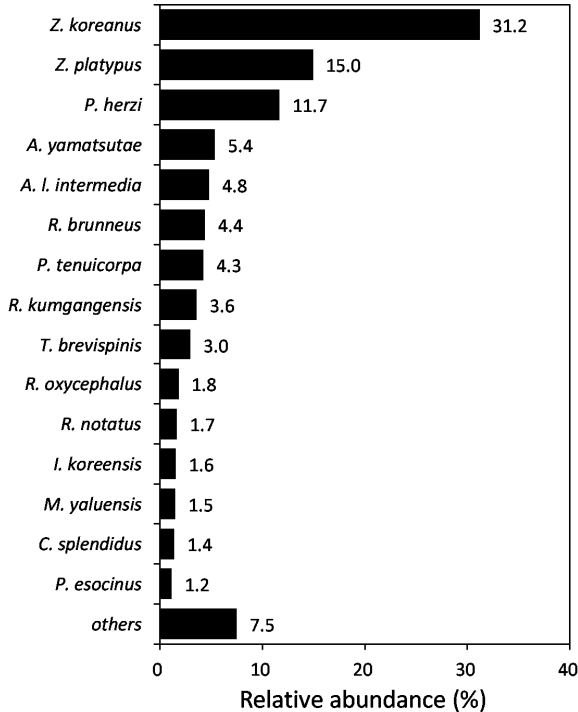


Figure 2. Relative abundance of the fish species found in the Byekgye Stream, Korea from April to September 2020.

3. 우점종과 군집분석, 군집구조

지점별 우점종은 St. 2~6은 참갈겨니, 최상류인 St. 1은 금강모치, 최하류인 St. 7은 피라미였다. 아우점종은 버들치가 1개 지점(St. 1), 돌고기가 5개 지점(St. 2, 3, 4, 5, 6), 줄납자루가 1개 지점(St. 7)에서 나타났다. 우점도(dominance)는 최상류인 St. 1이 0.977로 가장 높고 하류로 가면서 점점 낮아져 St. 7이 0.408로 가장 낮았다. 다양도(diversity)와 풍부도(richness)는 우점도와 반대로 St. 1(다양도 1.004, 풍부도 0.580)이 가장 낮았으나 하류로 가면서 높아져 다양도는 St. 7(2.166), 풍부도는 St 6(2.379)이 가장 높았다. 균등도(evenness)는 St. 7이 0.749로 가장 높았고 St. 2가 0.503으로 가장 낮게 나타났다. 벽계천 전체는 우점도 0.462, 다양도 2.449, 균등도 0.720, 풍부도 3.565로 비교적 우점도와 균등도는 낮고 다양도와 풍부도는 높았다(Figure 3). 군집구조는 최상류(St. 1), 상류(St 2-3), 중류(St 4-6), 하류(St 7)로 구분되었으며 상류와 중류가 비교적 가까웠다(Figure 3).

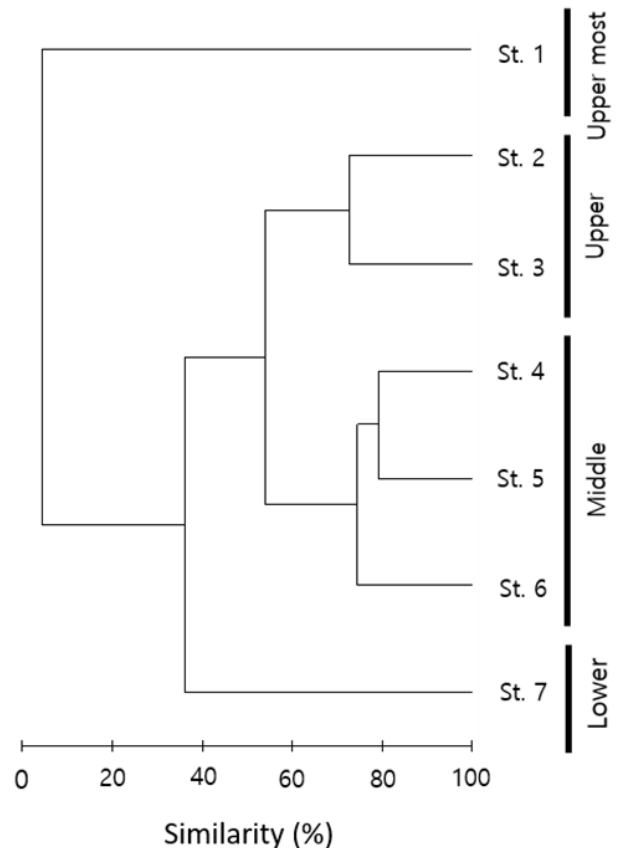


Figure 3. Dendrogram for the cluster analysis based on similarity index of the fish species found among the stations in the Byekgye Stream, Korea from April to September 2020.

Table 3. Community indices in the Byekgye Stream, Korea from April to September 2020

Index	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	Total
Dominance	0.977	0.934	0.816	0.657	0.606	0.568	0.408	0.462
Diversity	1.004	0.901	1.291	1.774	1.834	2.041	2.166	2.449
Evenness	0.724	0.503	0.520	0.672	0.677	0.720	0.749	0.720
Richness	0.580	0.921	1.901	2.093	2.331	2.565	2.379	3.565

4. 하천건강성평가

하천 건강성(FAI)을 하천 차수에 따라 계산한 결과, 5개 지점(St 3~7)은 매우 좋음(A, 83.4~100.0), 2개 지점(St. 1~2)은 좋음(B, 70.8~77.1)으로 평가되었다. 공통적으로 개체수 비율(M4)과 비정상종의 개체수 비율(M8)은 모든 지점에서 최상의 값이었고, 국내종의 총 종수(M1)와 여울성 저서종수(M2), 채집된 국내종의 총 개체수(M7)는 중하류에서 높은 값을, 잡식종의 개체수 비율(M5)과 국내종의 총식종 개체수 비율(M6)은 상류에서 높은 값으로 나타났다(Table 4).

5. 법정보호종 서식현황

환경부지정 멸종위기 야생생물은 II급으로 지정된 독중개와 한강납줄개, 묵납자루, 가는돌고기 4종이 확인되었다. 독중개는 최상류인 St. 1에서만 2개체가 채집되었고, 한강납줄개는 중류인 St. 3, 4, 6에서 28개체, 묵납자루는 중하류인 St. 5~7에서 35개체, 가는돌고기는 중하류인 St. 4~7에서 146개체가 채집되었다. 개체수가 매우 적은 독중개를 제외하고 전장빈도분포도를 작성한 결과(Figure 4), 7월 기준으로 한강납줄개는 전장 22~33mm는 당년생(0+), 44~51mm는 만1년생(1+), 62~65mm는 만2년생 이상(2≤)으로 추정되었고, 묵납자루는 전장 22~31mm는 당년생, 46~53mm는 1년생, 62~67mm는 만2년생 이상으로 추정되었으며, 가는돌고기는 전장 26~35mm는 당년생, 54~75mm는 만1년생, 82~97mm는 만2년생, 104~109mm는 만3년생 이상으로 추정되었다.

고찰

벽계천의 어류상 및 어류군집에 관한 선행연구는 제2차 전국자연환경조사(Lee and Kim, 1998)로 2개 지점(연 2회 조사)에서 6과 16종이 출현하였고, 제3차 전국자연환경조사(Yang and Lee, 2007a; 2007b; Song and Jeon, 2009)로 5개 지점(연 1~2회 조사)에서 9과 18종이 서식하는 것으로 보고되었다(Table 5). 본 조사(연 3회 조사)는 본류 7개 지점을 연 3회 조사하여 9과 31종이 채집되어 과거 문헌보다 12~15종이 많았는데, 이러한 결과는 선행연구가 조사지점이 2~5개로 적고 조사횟수도 연 1~2회로 적었기 때문으로 판단된다. 또한 벽계천 인근인 북한강 하류에 유입되는 지류의 어류상은 구운천 6과 17종, 월산천 5과 20종, 묵현천 4과 17종, 문호천 5과 19종, 진중천 5과 17종이 출현한다고 보고되어(Choi and Yun, 2020b, Ko and Choi, 2020) 벽계천이 가장 많은 종이 서식하고 있었다.

선행조사에서 출현하였으나 본 조사에서 출현하지 않은 종은 없었으며, 본 조사에서 처음으로 출현한 종은 한강납줄개, 떡납줄개이(*Rhodeus notatus*), 납자루, 묵납자루, 줄납자루, 납지리(*A. rhombeus*), 민물검정망둑(*Tridentiger brevispinis*), 꼭저구(*Gymnogobius urotaenia*) 8종이었다. 이 종들은 대부분 중하류에서 서식이 확인되었는데, 본 조사가 선행조사와 달리 조사지점 및 조사횟수가 많아 보다 많은 종이 채집된 것으로 판단되었다. 벽계천 하류부(St. 7)

Table 4. Fish assessment index(FAI) in the Byekgye Stream, Korea from April to September 2020

Parameter	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7
M1. Total number of native fish species	4.2	4.2	6.3	12.5	12.5	12.5	12.5
M2. Number of riffle benthic species)	4.2	2.1	8.3	12.5	12.5	12.5	12.5
M3. Number of sensitive species	8.3	8.3	12.5	12.5	12.5	12.5	6.3
M4. Proportion of individuals as tolerant species	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
M5. Proportion of individuals as omnivores	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	10.4	6.3
M6. Proportion of individuals as native insectivores	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	8.3
M7. Total number of individuals	10.4	6.3	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
M8. Proportion of abnormal individuals	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
Total (grade)	77.1 (B)	70.8 (B)	89.6 (A)	100.0 (A)	100.0 (A)	97.9 (A)	83.4 (A)

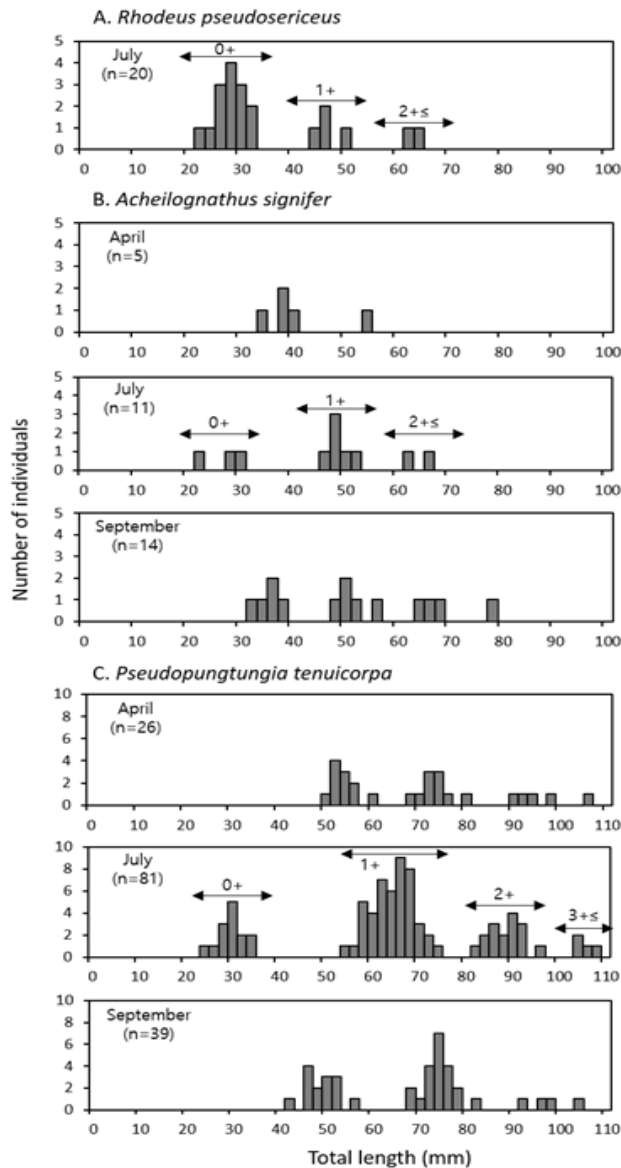


Figure 4. Total length frequency distribution of *Rhodeus pseudoseriaceus*, *Acheilognathus signifer* and *Pseudopungtungia tenuicorpa* in the Byekgye Stream, Korea from April to September 2020.

는 새롭게 확인된 종 중 떡납줄갱이, 납자루, 줄납자루, 납지리, 민물검정망둑, 꼭저구 6종이 확인되어 주목되었다. 북한강 하류에 합류되는 지류인 구운천과 월산천, 묵현천, 문호천, 진중천 하류부는 14~17종이 서식하여 중상류 지역의 4~7종보다 2~3배 많은 어류가 서식하는 것으로 보고되었는데, 특히 하류부는 납자루아과 어류인 각시붕어(*R. uyekii*), 떡납줄갱이, 가시납지리(*Acanthorhodeus chankaensis*), 납자루, 줄납자루와 망둑어과 어류인 꼭저구와 밀어, 민물검정망둑, 검정우럭과의 배스(*Micropterus salmoides*)와 블루

길(*Lepomis macrochirus*) 등이 서식한다고 보고하였다(Choi and Yun, 2020b; Ko and Choi, 2020). 벽계천 또한 이들 하천과 유사하게 하류부에서 납자루아과 어류인 한강납줄갱이, 떡납줄갱이, 납자루, 묵납자루, 줄납자루, 납지리와 망둑어과 어류인 밀어, 민물검정망둑, 꼭저구 등 18종이 서식하고 있어 중상류(12~15종)보다 많은 어류가 서식하여 비교적 유사한 특징을 보였다. 이러한 결과는 이들 하천이 소규모이고 주로 계곡형을 띠는 중상류부와 달리 하류부는 경사각이 낮고 수초가 많으며 팔당호에 인접해 있기 때문에 납자루아과와 망둑어과, 검정우럭과(Centrarchidae)와 같은 어류가 많이 서식하기 때문으로 추정되었다.

본 조사로 벽계천에 서식하는 환경부지정 멸종위기 야생생물은 II급인 한강납줄갱이와 묵납자루, 가는돌고기, 독중개 4종 등 4종과 기후변화민감종인 금강모치와 독중개 2종이 서식하는 것으로 나타나 주목되었는데, 북한강 하류 지류인 월산천과 구운천과 월산천, 묵현천, 문호천, 진중천은 멸종위기종 및 기후변화민감종이 서식이 보고되지 않았다(Choi and Yun, 2020b; Ko and Choi, 2020).

환경부지정 멸종위기 야생생물 II급의 가는돌고기는 선행 조사인 제2차 전국자연환경조사(Lee and Kim, 1998) 7개체가 채집되었고 적색자료집(NIBR, 2019)에 출현기록이 있었으며 본 조사에서는 중하류(St. 4~7)에서 146개체가 채집되어 비교적 큰 집단을 형성하며 서식하는 것으로 추정되었다. 가는돌고기는 2005년 환경부지정 멸종위기야생동식물 II급으로 지정되었으며(ME, 2005), 한강 수계인 한강과 임진강에 서식하며 주로 물이 맑고 계곡이 발달한 중상류역에 많이 서식한다(Kim and Park, 2007; Chae *et al.*, 2019). 또한 독특한 산란습성을 가지는데, 꺾지속(*Coreoperca*) 어류의 산란장에 탁란(brood parasitism)하는 방법과 돌틈에 산란하는 틈새산란(crevice for the spawning)을 하는 것으로 알려져 있다(Lee, 2011). 벽계천은 계곡이 잘 발달되어 있고 큰돌과 바위가 많아 비교적 많은 개체가 서식하는 것으로 생각되며, 전장빈도분포도로 볼때 7월기준 당년생(전장 26~35mm), 만 1년생(54~75mm), 만 2년생(82~97mm), 만 3년생 이상(104~109mm)으로 잘 구분되고, 개체수에서도 당년생과 1년생이 2년생과 3년생 이상보다 많아 비교적 안정적인 전장빈도분포도를 보였으며, 비교적 속리산의 화양계곡 집단(Ko *et al.*, 2019a)과 유사한 전장빈도분포도를 보였다.

환경부지정 멸종위기 야생생물 II급의 한강납줄갱이는 제2차, 제3차 전국자연환경조사에서 출현기록은 없었으나 적색자료집(NIBR, 2019)에 출현기록이 있었고, 본 조사에서는 중하류(St. 3~4, 6)에서 28개체가 채집되었다. 한강납줄갱이는 2012년 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급으로 지정된 어류로(ME, 2012), 한강의 중류 지류인 조중천과, 흑천, 섬강, 금당천, 주천강과 무한천, 대천천 등에 서식하고 담수조개인

Table 5. Historical record of ichthyofauna in the Byekgye Stream, Korea from 1998 to 2020

Scientific name	ME (1998)	ME (2007-2009)	Present study
Number of surveys	2	1~2	3
Number of survey stations	2	4	7
Cyprinidae			
<i>Rhodeus pseudosericeus</i>			●
<i>Rhodeus notatus</i>			●
<i>Acheilognathus lanceolata intermedia</i>			●
<i>Acheilognathus signifer</i>			●
<i>Acheilognathus yamatsutae</i>			●
<i>Acheilognathus rhombeus</i>			●
<i>Pungtungia herzi</i>	●	●	●
<i>Pseudopungtungia tenuicorpa</i>	●		●
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	●	●	●
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	●		●
<i>Hemibarbus longirostris</i>	●		●
<i>Pseudogobio esocinus</i>	●	●	●
<i>Microphysogobio yaluensis</i>		●	●
<i>Microphysogobio longidorsalis</i>	●	●	●
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	●		●
<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	●	●	●
<i>Zacco koreanus</i>	●	●	●
<i>Zacco platypus</i>	●	●	●
Cobitidae			
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	●		●
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>		●	●
<i>Iksookimia koreensis</i>		●	●
Bagridae			
<i>Pseudobagrus koreanus</i>		●	●
Siluridae			
<i>Silurus microdorsalis</i>		●	●
Amblycipitidae			
<i>Liobagrus andersoni</i>	●	●	●
Cottidae			
<i>Cottus koreanus</i>	●	●	●
Centropomidae			
<i>Coreoperca herzi</i>	●	●	●
Odontobutidae			
<i>Odontobutis platycephala</i>		●	●
<i>Odontobutis interrupta</i>	●	●	●
Gobiidae			
<i>Rhinogobius brunneus</i>		●	●
<i>Tridentiger brevispinis</i>			●
<i>Gymnogobius urotaenia</i>			●
Number of family	6	9	9
Number of species	16	18	31

*ME(1998): The 2nd National Environment Investigation of Freshwater Fish(Lee and Kim, 1998), ME(2007-2009): The 3rd National Environment Investigation of Freshwater Fish(Yang and Lee, 2007a; 2007b; Song and Jeon, 2009)

작은말조개(*Unio douglasiae sinuolatus*)에 산란하며(Kim *et al.*, 2017; Ko *et al.*, 2018; NIER, 2019), 최근 댐건설과 외래종 배스 도입 및 확산, 하천공사, 수질오염 등으로 서식지 및 개체수가 급격히 감소한 것으로 보고되었다(Ko *et al.*, 2018). 벽계천에 서식하는 한강납줄개는 서식개체수가 많지 않으나 전장빈도분포도에서 당년생(전장 22~33mm), 만 1년생(44~51mm), 만 2년생이상(62~65mm)으로 구분되어 비교적 흑천집단과 유사한 연령분포를 보이고(Kim *et al.*, 2017; Ko *et al.*, 2019b) 당년생이 만 1년생, 만 2년생 보다 많아 비교적 안정적인 전장빈도분포도를 보였다.

환경부지정 멸종위기 야생생물 II급의 묵납자루는 선행 조사에서 출현기록이 없었으나, 본 조사에서 처음으로 중하류(St. 5~7)에서 35개체가 채집되었다. 묵납자루는 1996년 환경부지정 특정야생동·식물로 처음 지정되었으며(ME, 1996), 한강과 임진강에 서식하고 담수조개인 작은말조개와 꽃체두드럭조개(*Lamprotula leai*) 등에 산란한다(Baek, 2005; Kim, 2014). 벽계천에서 채집된 묵납자루 개체수는 많지 않으나 7월의 전장빈도분포도에서 당년생(전장 22~31mm), 만 1년생(46~53mm), 만 2년생 이상(62~67mm)으로 잘 구분되었으며, 연령 분포는 비교적 흑천집단(Ko *et al.*, 2019b)과 유사하였다.

독중개는 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급 및 기후변화민감종으로 선행조사로 제2차 전국자연환경조사에서 1개체(Lee and Kim, 1998), 제3차 전국자연환경조사에서 1개체가 채집되었고(Song and Jeon, 2009), 적색자료집(NIBR, 2019)에 출현기록이 있었으며, 본 조사에도 최상류인 St. 1에서 2개체가 채집되어 선행결과와 동일하였다. 독중개는 2005년 환경부지정 멸종위기야생동식물 II급으로 지정되었다가(ME, 2005) 2012년에 해제되었으며(ME, 2012), 2022년에 다시 II급으로 재지정되었다(ME, 2022). 현재 우리나라의 한강과 임진강, 낙동강 상류부, 일부 동해안 하천 등의 최상류에 주로 서식하며, 과거 섬진강과 금강, 만경강 상류에 출현기록이 있으나 현재는 서식하지 않아 절멸한 것으로 추정되고 있다(Kim and Park, 2007; Chae *et al.*, 2019; NIER, 2019).

벽계천에서 기후변화민감종(냉수성 어류)은 독중개와 함께 금강모치가 서식하는 것으로 보고되었는데, 금강모치는 제2차 전국자연환경조사에서는 10개체(Lee and Kim, 1998), 제3차 전국자연환경조사에서는 30개체(Song and Jeon, 2009), 본 조사에서는 최상류인 St. 1에서만 123개체가 채집되어 주목되었다. 이 지점은 용문산(해발 1,157m)에 인접한 1차 하천인 최상류로 해발 460m로 고도가 높고 계곡형(Aa type)을 띠기 때문에 다른 지점보다 수온이 낮아 냉수성 어류인 독중개와 금강모치가 서식할 수 있는 것으로 판단된다. 금강모치는 우리나라의 한강과 임진강 상류, 금강 상

류인 무주구천동에만 서식하는 것으로 알려졌다(Kim and Park, 2007; Chae *et al.*, 2019). 경기도의 한강 중하류부에서 독중개와 금강모치 서식지는 많지 않은데, 독중개는 벽계천(Lee and Kim, 1998; Song and Jeon, 2009)과 흑천(Han, 2007; Moon *et al.*, 2010), 조종천(Choi and Yun, 2020a), 경안천(Choi *et al.*, 2020), 북한산국립공원(Ko *et al.*, 2021), 왕숙천(NIER, 2019) 등에, 금강모치는 벽계천(Lee and Kim, 1998; Song and Jeon, 2009)과 가평천(Hong and Park, 2020a; 2020b) 등에서만 서식하는 것으로 보고되었다.

벽계천은 비교적 자연적으로 잘 보존되어 있고 환경부 지정 멸종위기 야생생물 II급인 한강납줄개와 묵납자루, 가는 돌고기, 독중개 4종과 기후변화민감종(냉수성 어류) 독중개와 금강모치 2종, 한국고유종 19종을 포함하여 31종의 다양한 담수어류가 서식하고 있었다. 또한 군집분석에서 우점도와 균등도는 낮고 다양도와 풍부도는 높으며 하천건강성은 최상류부를 제외하고 매우 좋음으로 평가되어 우수하였다. 하지만 벽계천은 자연환경이 우수하여 관광지로 개발압이 높으며, 일부구간에서는 하천정비공사가 진행되는 것이 관찰되었다. 또한 최근 생태적으로 중요하거나 멸종위기종이 다수 서식하는 지역일지라도 하천정비공사나 대형하천공사가 무작위적으로 이루어져 급격한 생태적 교란이 발생하고 있는 실정이다(Ko *et al.*, 2018; 2021; ME, 2019; Park *et al.*, 2020). 따라서 벽계천의 안정적인 어류 서식을 위해서는 무분별한 하천공사는 반드시 지양하여야 하고, 멸종위기종이 많이 서식하는 벽계천 중하류부는 천연기념물이나 자연보전지역 등으로 지정하여 보호하는 등의 방법이 고려되어야 할 것이다.

REFERENCES

- Baek, H.M.(2005) Ecological studies on the Korean bitterling, *Acheilognathus signifer*(Cyprinidae) in Korea. Ph.D. Dissertation, Kangwon National University, Chuncheon, 186pp. (in Korean with English abstract)
- Chae, B.S., H.B. Song and J.Y. Park(2019) A field guide to the freshwater fishes of Korea. LG Evergreen Foundation, Seoul, Korea, 355pp. (in Korean)
- Choi, J.W. and J.W. Yun(2020a) The 5th Nation Environment Investigation. Fresh water fishes of the Jojongcheon upperstream basin. Ministry of Environment, 11pp. (in Korean)
- Choi, J.W. and J.W. Yun(2020b) The 5th Nation Environment Investigation. Fresh water fishes of the Guuncheon. Ministry of Environment, 11pp. (in Korean)
- Choi, K.S., M.S. Han, D.W. Kang and M.H. Ko(2020) Fish community characteristics in the Gyeongang Stream, a tributary of the Han River drainage system, Korea. Korean Journal of Environment and Ecology 34: 142-156. (in Korean with English abstract)
- Cummins, K.W.(1962) An evolution of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. The American Midland Naturalist 67: 477-504.
- Han, M.S. and M.H. Ko(2023) Fish community characteristics and distribution aspect of *Rhodeus pseudosericeus*(Cyprinidae) in the Geumdangcheon(Stream), a tributary of the Hangang drainage system of Korea. Korean Journal of Environment and Ecology 37: 151-162. (in Korean with English abstract)
- Han, T.J.(2007) Ichthyofauna in the Heuk stream of Gyeonggi Province. Master's Thesis, Chonnam National University, Yeosu, 29pp. (in Korean with English abstract)
- Hong, Y.P. and K.H. Park(2020a) The 5th Nation Environment Investigation. Fresh water fishes of the Gapyeongcheon upperstream basin. Ministry of Environment, 12pp. (in Korean)
- Hong, Y.P. and K.H. Park(2020b) The 5th Nation Environment Investigation. Fresh water fishes of the Gapyeongcheon downstream basin. Ministry of Environment, 12pp. (in Korean)
- Jang, M.H., G.J. Joo and M.C. Lucas(2006) Diet of introduced largemouth bass in Korean rivers and potential interactions with native fishes. Ecology Freshwater Fish 15: 315-320.
- Kani, T.(1944) Ecology of the aquatic insects inhabiting a mountain stream. In: H. Furukawa(ed.), Insects I. Kenkyu-sha, Tokyo, pp.171-317. (in Japanese)
- Kim, H.S.(2014) Spawning ecology and conservation of the Korean bitterling, *Acheilognathus signifer*(Cyprinidae). Ph.D. Dissertation, Chonbuk National University, Jeonju, 158pp. (in Korean)
- Kim, H.S., J.D. Yoon, H. Yang, H.S. Choi and J.H. Lee(2017) Reproductive characteristics of *Rhodeus pseudosericeus* (Pisces: Acheilognathinae) in the Byekgyecheon, Namhangang (River), Korea. Korean Journal of Ichthyology 29: 235-243. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.S. and J.Y. Park(2007) Freshwater fishes of Korea. Kyohak Publishing, Seoul, 467pp. (in Korean)
- Kim, I.S.(1997) Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, freshwater fishes. Ministry of Education, Yeongi, 629pp. (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. Kyohak Publishing, Seoul, 615pp. (in Korean)
- Ko, M.H. and K.S. Choi(2020) The 4th Nation Environment Investigation. Fresh water fishes of the Bukhangang downstream basin. Ministry of Environment, 12pp. (in Korean)
- Ko, M.H., K.S. Choi and M.S. Han(2021) Distribution status, habitat characteristics and extinction threat evaluation of the endangered species, *Brachymystax lenok tsinlingensis*(Pisces:

- Salmonidae). Korean Journal of Ichthyology 33: 74-83. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H., M.S. Han and K.S. Choi(2021) Natural resource survey of Bukhansan National Park. Bukhansan National Park, Seoul. (in Korean)
- Ko, M.H., M.S. Han and S.M. Kwan(2018) Distribution aspect and extinction threat evaluation of the endangered species, *Rhodeus pseudosericeus*(Pisces: Cyprinidae) in Korea. Korean Journal of Ichthyology 30: 100-106. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H., M.S. Han, R.Y. Myung and H.J. Yun(2019) Fish community characteristics and habitat aspects of endangered species *Pseudopungtungia tenuicarpa* and *Acheilognathus signifer* in the Hwayangcheon Stream, Hangang River of Songnisan National Park, Korea. Korean Journal of Ichthyology 31: 222-234. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H., R.Y. Myung and H.S. Kim(2019) Fish community characteristics and habitat aspects of endangered species, *Rhodeus pseudosericeus* in Heuk Stream, a tributary of the Han River drainage system. Korean Journal of Environment and Ecology 33: 266-279. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H., Y.S. Kwan, W.K. Lee and Y.J. Won(2017) Impact of human activities on changes of ichthyofauna in Dongjin River of Korea in the past 30 years. Animal Cells and Systems 21: 207-216.
- Kwater(2007) A guidebook of rivers in South Korea. Kwater, Daejeon, 582pp. (in Korean)
- Lee, H.H.(2011) Reproductive strategies of genus *Pseudopungtungia* and *Pungtungia*. Ph.D. Dissertation, Kunsan National University, Gunsan, 131pp. (in Korean with English abstract)
- Lee, W.O. and S.J. Kim(1998) The 2nd Nation Environment Investigation. Fresh water fishes of the Yongmoonsan in Yangpyeon and Hongcheon. Ministry of Environment, 48pp. (in Korean)
- Margalef, R.(1958) Information theory in ecology. General Systems 3: 36-71.
- McNaughton, S.J.(1967) Relationship among functional properties of California Glassland. Nature 216: 144-168.
- ME(Ministry of Environment)(1996) Natural environment conservation law, Ministry of Environment Announcement(Law No. 1996-33). (in Korean)
- ME(Ministry of Environment)(2005) Enforcement of wildlife laws(Law No. 7167). (in Korean)
- ME(Ministry of Environment)(2012) Conservation and management laws of wildlife(Law No. 10977). (in Korean)
- ME(Ministry of Environment)(2019) Study on conservation plan of endangered freshwater fish(*Microphysogobio rapidus* and *Pseudobagrus brevicarpus*). Institute of Biodiversity Research, Jeonju, Korea, 214pp.
- ME(Ministry of Environment)(2022) Conservation and management laws of wildlife(amendment of enforcement regulations) (Law No. 10977).
- Moon, W.K., J.H. Han and L.G. An(2010) Fish fauna and community analysis in Heuck Stream watershed. Korean Journal of Limnology 43: 69-81. (in Korean with English abstract)
- Moyle, P.B. and J.J. Cech(2000) Fishes: An introduction to ichthyology(4th ed.). Davis: Prentice Hall, 612pp.
- Nelson, J.S.(2006) Fishes of the world(4th ed.). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 601pp.
- NFRDI(National Fisheries Research & Development Institute) (2010) A study on the distribution, utilization and management of foreign fish species. National Fisheries Research & Development Institute, Gapyeong 130pp. (in Korean)
- NIBR(National Institute of Biological Resources)(2011) Red data book of endangered fishes in Korea. Ministry of Environment, National Institute of Biological Resources, Incheon, 202pp. (in Korean)
- NIBR(National Institute of Biological Resources)(2019) Red data book of Republic of Korea, Volume 3. Freshwater fishes. Ministry of Environment, National Institute of Biological Resources, Incheon, 250pp. (in Korean)
- NIER(National Institute of Environmental Research)(2016) Survey and evaluation method for river and stream ecosystem health assessment. National Institute of Biological Resources, Incheon, 313pp. (in Korean)
- NIER(National Institute of Environmental Research)(2019) Survey and evaluation method for river and stream ecosystem health assessment. National Institute of Environmental Research, 131pp. (in Korean)
- Nishimura, S.(1974) History of Japan sea: Approach from biogeography. Tsukiji-Shokan, Tokyo, 274pp. (in Japanese with English abstract)
- Park, S.C., K.S. Choi, M.S. Han and M.H. Ko(2020) Fish community characteristics and inhabiting status of endangered species in the Bukcheon (Stream) of Seoraksan National Park, Korea. Journal of Environment and Ecology 36: 390-401. (in Korean with English abstract)
- Pielou, E.C.(1969) Shannon's formula as a measure of diversity. The American Naturalist 100: 463-465.
- Pielou, E.C.(1975) Ecological diversity. John Wiley, New York, 165pp.
- Ricker, W.E.(1971) Methods for assessment of fish production in fresh waters. IBP Hand Book 3: 112-113.
- Sala, O.E., F.S. Chapin, J.J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, H.S. Elisabeth, L.F. Huenneke, R.B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, M.L. David, H. Mooney, A.O. Martin, N.L. Poff, T.S. Martin, B.H. Walker, W. Marilyn and D.H. Wall(2000) Global biodiversity scenarios for the year 2100. Science 287: 1770-1774.

- Song, H.B. and J.S. Jeon(2009) The 3rd Nation Environment Investigation. Fresh water fishes of the Sinjeom whole area. Ministry of Environment, 4pp. (in Korean)
- Yang, H. and H.H. Lee(2007a) The 3rd Nation Environment Investigation. Fresh water fishes of the Guksu whole area. Ministry of Environment, 4pp. (in Korean)
- Yang, H. and H.H. Lee(2007b) The 3rd Nation Environment Investigation. Fresh water fishes of the Cheongpyeong whole area. Ministry of Environment, 4pp. (in Korean)
- Yoo, D.G., G.S. Lee, G.Y. Kim, N.K. Kang, B.Y. Yi, Y.J. Kim, J.H. Chun and G.S. Kong(2016) Seismic stratigraphy and depositional history of late Quaternary deposits in a tide-dominated setting: An example from the eastern Yellow Sea. *Marine and Petroleum Geology* 73: 212-227.