

방태천의 어류군집 특성 및 냉수성 어류의 서식양상¹

최광식² · 한미숙³ · 고명훈^{4*}

Characteristics of Fish Community and Habitat Aspects of Cold-water Fish Species in the Bangtaecheon (Stream), Korea¹

Kwang-Seek Choi², Mee-Sook Han³, Myeong-Hun Ko^{4*}

요약

방태천의 어류군집 특성과 냉수성 어류의 서식양상을 파악하기 위해 2020년 4월부터 10월까지 조사를 실시하였다. 조사기간 동안 11개 지점에서 9과 26종 4,640개체의 어류가 채집되었다. 우점종은 금강모치(*Rhynchocypris kumgangensis*, relative abundance 31.5%)였고, 아우점종은 참갈겨니(*Zacco koreanus*, 27.8%), 그 다음으로는 새미(*Ladislavia taczanowskii*, 15.9%), 돌고기(*Pungtungia herzi*, 4.0%), 열목어(*Brachymystax lenok tsinlingensis*, 3.7%), 배가사리(*Microphysogobio longidorsalis*, 2.4%), 피라미(*Z. platypus*, 2.3%), 통가리(*Liobagrus andersoni*, 2.3%) 등의 순으로 우세하였다. 출현종 중 한국고유종은 17종(65.4%)이었고, 범정보호종으로 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급인 묵납자루(*Acheilognathus signifer*), 가는돌고기(*Pseudopungtungia tenuicarpa*), 돌상어(*Gobiobotia brevibarba*), 열목어 4종, 천연기념물인 어름치(*Hemibarbus mylodon*) 1종 등 5종이, 육방형 어류는 독중개, 열목어 2종이 채집되었다. 냉수성 어류는 금강모치, 독중개(*Cottus koreanus*), 열목어, 새미 4종이 출현하였으며 모두 주로 중·상류역에 서식하고 있었다. 어류군집 분석 결과, 상류에서 하류로 갈수록 우점도와 균등도는 낮아지고 풍부도와 다양도는 높아지는 경향을 보였으며, 군집구조는 크게 상류와 하류 그룹으로 구분되었다. 하천 건강성은 매우 좋음(9지점)과 좋음(2지점)으로 평가되어 양호하였다. 과거 조사와 비교한 결과, 어류상은 과거와 큰 변화가 없었으나, 과거에는 출현하였으나 본 조사에서 출현하지 않은 종은 3종(붕어 *Carassius auratus*, 대농갱이 *Leiocassis ussuriensis*, 쏘가리 *Siniperca scherzeri*)이었고, 과거에는 출현하지 않았지만 본 조사에서 처음으로 출현한 종은 3종(끄리 *Opsariichthys uncirostris amurensis*, 돌마자 *Microphysogobio yaluensis*, 대륙중개 *Orthrias nudus*)이었다. 방태천은 서식지가 잘 보존되어 있으며, 기후변화민감종과 멸종위기 야생생물, 천연기념물 등이 서식하고 있어 보존 가치가 높은 지역으로 판단되기 때문에 지속적인 관심과 체계적인 보존방안체계적인 보존방안이 요구된다.

주요어: 어류상, 군집구조, 기후변화민감종, 멸종위기종

1 접수 2022년 9월 8일, 수정 (1차: 2022년 10월 11일), 게재확정 2022년 10월 26일

Received 8 September 2022; Revised (1st: 11 October 2022); Accepted 26 October 2022

2 교수생태연구소 연구원 Kosoo Biology institute, 49 Mokdongjungangnamro14gagil, Yangcheon-gu, Seoul-si, 07955, Korea (akdlsrhhffa10@gmail.com)

3 교수생태연구소 이사 Kosoo Biology institute, 49 Mokdongjungangnamro14gagil, Yangcheon-gu, Seoul-si, 07955, Korea (kosoeco@gmail.com)

4 교수생태연구소 소장 Kosoo Biology institute, 49 Mokdongjungangnamro14gagil, Yangcheon-gu, Seoul-si, 07955, Korea (hun7146@gmail.com)

* 교신저자 Corresponding author: E-mail: hun7146@gmail.com

ABSTRACT

This study investigated the characteristics of fish communities in the Bangtaecheon Stream in Korea from April to October 2020. The survey collected 4,640 fish of 26 species in 9 families from 11 survey stations. The dominant and subdominant species were *Rhynchocypris kumgangensis* (relative abundance at 31.5%) and *Zacco koreanus* (27.8%), respectively. The next most abundant species were *Ladislavia taczanowskii* (15.9%), *Pungtungia herzi* (4.0%), *Brachymystax lenok tsinlingensis* (3.7%), *Microphysogobio longidorsalis* (2.4%), and *Zacco platypus* (2.3%). Among the collected fish species, 17 (65.4%) were Korean endemic species, 4 (15.4%), including *Acheilognathus signifer*, *Pseudopungtungia tenuicarpa*, *Gobiobotia brevibarba*, and *B. l. tsinlingensis*, were class II endangered wildlife as designated by the Ministry of Environment, and 1 species, *Hemibarbus mylodon*, was a natural monument. Moreover, two landlocked species (*B. l. tsinlingensis* and *C. koreanus*) were also collected. Additionally, four cold-water species (*R. kumgangensis*, *L. taczanowskii*, *B. l. tsinlingensis*, and *Cottus koreanus*) were collected, and all of them mainly inhabited the upper and middle streams. Fish community analysis showed a tendency for dominance and uniformity to decrease and abundance and diversity to increase from upstream to downstream and that the community structure was divided into upstream and downstream groups. The river health was rated as excellent (9 stations) and good (2 stations). Compared to the previous studies, three species (*Carassius auratus*, *Leiocassis ussuriensis*, and *Siniperca scherzeri*) appeared in the past but did not appear in this survey, and three species (*Opsariichthys uncirostris amurensis*, *Microphysogobio yaluensis*, and *Orthrias nudus*) that did not appear in the past appeared in this survey. Bangtaecheon Stream is well-preserved, and climate-sensitive species, endangered wildlife, and natural monuments inhabit the stream. Therefore, continuous attention and systematic conservation measures are required.

KEY WORDS: FISH FAUNA, COMMUNITY STRUCTURE, CLIMATE-SENSITIVE SPECIES, ENDANGERED SPECIES

서론

담수어류는 하천생태계의 먹이피라미드에서 상위소비자로서 하천생태계의 안정성과 지속성을 대표하고(Kim, 1997; Kim and Park, 2007), 과거에서부터 현재까지의 지질학적 역사와 생태계의 상호작용, 종분화 등에 따라 다양한 분포 양상을 보이고 있다(Nishimura, 1974; Kim, 1997; NIER, 2016; Yoo *et al.*, 2016). 우리나라의 담수어류는 대형 댐과 하굿둑의 건설, 하천 준설 및 하천 정비 공사, 외래종의 도입, 수질오염 등의 인위적 요인에 영향을 받아 종수와 생물 다양성이 감소하고 있다(Kwater, 2007; Lee *et al.*, 2009; MAFRA, 2010; Ko *et al.*, 2017). 이로 인해 어류의 개체수와 종수가 감소하여 종 다양성이 낮아지고, 일부 종의 경우 멸종위기에 처해있거나 멸종되었다고 보고되었다(ISK, 2003, Yeom *et al.*, 2007; NIBR, 2011; An and Lee, 2018). 이러한 의미에서 국립공원과 백두대간, DMZ 일대는 인간의 간

섭이 최소화된 지역으로 자연생태계가 잘 유지되고 있는 것으로 보고되고 있다(NPRI, 2019; ME and NIE, 2021a; 2021b).

방태천은 강원도 인제군 기린면의 점봉산(1,424m)에서 발원하여, 내린천으로 유입되는 한강수계의 지방 2급하천이다. 방태천은 본류와 5개의 소하천 등으로 이루어져 있고, 한석산(1,119m), 매봉산(1,268m), 점봉산(1,424m) 등의 고도가 높은 산들로 둘러싸여 있어 유역경사가 급해 유속이 빠른 산지 하천의 특징을 보이고, 하천연장은 23.53km, 유로연장은 226km, 유역면적은 195.km²이며, 주변은 대부분 임야와 일부 농경지, 민가가 있다(Kwater, 2007). 방태천 상류부는 백두대간보호지역에 포함되며(NIE, 2021a), 이중 점봉산 일부는 최근 설악산국립공원으로 편입되어 관리되고 있다(KNPS, 2022).

방태천의 어류상에 관한 연구로는 제2차 전국자연환경조사(Byeon and Byeon, 1997; Byeon and Choi, 1997; Cha

and Yoon, 1997)와 제3차 전국자연환경조사(Choi and Jeong, 2007a; 2007b), 제4차 전국자연환경조사(Byeon *et al.*, 2013), 설악산국립공원(점봉산) 자연자원조사(KNPS, 2012) 등의 단편적 보고만 있다. 그 외에 방태천은 기후변화민감종이며 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급으로 알려진 열목어(*Brachymystax lenok tsinlingensis*)의 집단서식지로 보고된 바 있으며(Ko *et al.*, 2021), 냉수성 어류인 열목어와 독중개(*Cottus koreanus*), 금강모치(*Rhynchocypris kumgangensis*), 새미(*Ladislavia taczanowskii*)가 많이 서식하는 것으로 보고되었다(ME and NIE, 2019; KNPS, 2020).

따라서, 본 연구에서는 방태천의 어류상을 조사하여 어류군집 특성 및 냉수성 어류의 서식양상, 하천건강성을 평가하여 파악하고 선행연구와 비교하여 변화양상을 추정하며 나아가 어류 보존방안을 제시하고자 하였다.

연구방법

1. 조사 시기 및 지점

조사는 2020년 봄(4월 18~19일), 여름(6월 15~16일), 가을(10월 26~27일)로 구분하여 어류 서식 현황과 서식지 환경을 조사하였다. 조사지점은 강원도 인제군 기린면에 위치한 방태천의 상류부터 하류까지 3~5km 간격으로 11개 지점

을 선정하였고, 지점별 위치 정보는 다음과 같다(Figure 1)

- St. 1: 강원도 인제군 기린면 진동리(38° 1'58.54"N 128°27'26.17"E)
- St. 2: 강원도 인제군 기린면 진동리 설피교 하방(38° 2'3.32"N 128°28'24.37"E)
- St. 3: 강원도 인제군 기린면 진동리(38° 1'26.03"N 128° 28'19.82"E)
- St. 4: 강원도 인제군 기린면 진동리 돌보(38° 0'17.97"N 128°28'51.74"E)
- St. 5: 강원도 인제군 기린면 진동리(37°59'36.85"N 128° 29'36.59"E)
- St. 6: 강원도 인제군 기린면 진동리(37°58'43.69"N 128°29'10.56"E)
- St. 7: 강원도 인제군 기린면 진동리 진흥교 하방 (37°58'44.25"N 128°27'12.26"E)
- St. 8: 강원도 인제군 기린면 진동리(37°57'49.95"N 128°24'28.14"E)
- St. 9: 강원도 인제군 기린면 방동리 방동2교(37°56'58.92"N 128°22'57.83"E)
- St. 10: 강원도 인제군 기린면 방동리 방동교(37°57'11.13"N 128°21'2.77"E)
- St. 11: 강원도 인제군 기린면 현리 보(37°56'51.13"N 128°19'17.94"E)

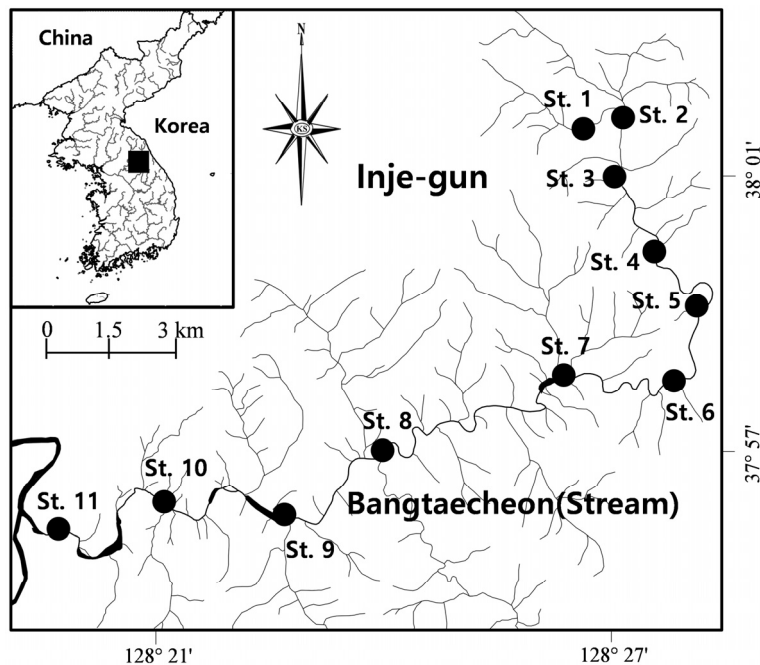


Figure 1. Study stations of the Bangtaecheon(Stream), Gangwon-do, Korea, 2020.

2. 채집 및 조사방법

채집은 조사 정점을 기준으로 상·하 약 200m 구간에서 족대(망목 4×4mm, 30분)와 투망(망목 6×6mm, 10회)을 이용하여 실시하였고, 채집된 개체는 현장에서 육안으로 동정 및 개수한 후 방류하였다. 어류의 동정은 Kim(1997), Kim *et al.*(2005) Kim and Park(2007) 등에 따랐으며 분류체계는 Nelson(2006)에 따라 목록을 정리하였다. 서식지 환경은 하천형과 하상구조, 하천차수, 하폭, 유폭, 수심, 고도 등을 조사하였는데, 하천형은 Kani(1944), 하상구조는 Cummins (1962)에 따라 현장에서 육안으로 구분하였다. 하폭과 유폭, 수심은 거리 측정용 망원경(Yardage pro Tour XL, BUSHNELL, Japan)과 줄자를 이용하여 측정하였고, 하천 차수(Stream order)는 축척 1: 120,000 기준으로 계산하였으며, 고도는 Google Earth(Google earth Pro, USA)의 지점별 고도를 사용하였다.

3. 군집 분석

군집 분석은 조사지점별 출현 종과 개체수를 바탕으로 우점도(dominance index)와 다양도(Diversity index), 균등도(Evenness index), 풍부도(Richness index) 지수를 산출하였고(Margalef, 1958; McNaughton, 1967; Pielou, 1966; 1975), 군집구조는 Primer 5.0(PRIMER E Ltd, UK)을 이용하여 Bray-Curtis 유사도를 계산한 후 도식화하였다.

4. 하천 건강성 평가

하천 건강성은 우리나라 하천의 건강성을 평가하기 위해

개발된 모델(IBM)을 이용하여, 하천 차수(Stream order)에 따라 8개의 매트릭(M1: 국내종의 총 종수, M2: 여울성 저서 종수, M3: 민감종수, M4: 내성종의 개체수 비율, M5: 잡식종(Omnivores)의 개체수 비율, M6: 국내종의 총식종(Insectivores)의 개체수 비율, M7: 국내종의 총 개체수, M8: 비정상종(Anormalities)의 개체수 비율)의 값을 계산 후 합산하여 어류생물지수(FAI)를 산출하였다. 산출된 어류생물 지수에 따라 5단계인 매우 좋음(A), 좋음(B), 보통(C), 나쁨(D), 매우 나쁨(E) 등급으로 평가하였다(NIER, 2019).

결 과

1. 서식지 특성

하천의 상류는 산림으로 둘러싸여 있는 자연형 하천의 특징을 보이고, 하류로 갈수록 민가와 농경지로 이루어진 하천의 특징을 보이고 있었다. 하폭은 10~130m, 유폭은 5~110m로 상류에서 하류로 갈수록 넓어졌고, 고도는 300~787m로 비교적 높은 곳에 위치해 있었다. 하천 차수는 3~5 차 하천이고, 하천형은 계류형(Aa)과 상류형(Aa-Bb), 평지형(Bb), 하상은 큰돌(Boulder)과, 돌(Cobble), 자갈(Pebble), 잔자갈(Gravel)로 구성되어 있었으며, 큰돌과 돌의 비율이 높았다. 일부 지점(St. 5, 9, 11)에서는 보가 형성되어 있었고, St. 3은 제방공사가 진행되고 있었으며, St. 4는 홍수로 인한 수해복구공사가 이루어졌다(Table 1).

Table 1. Physicochemical environments at the study stations in the Bangtaecheon(Stream), Korea, April to October 2020

St.	River width (m)	Water width (m)	Water depth (m)	Elevation (m)	River type*	Stream order	Bottom structure(%)**					Etc***
							B	C	P	G	S	
1	10-15	5-8	0.3-1.5	787	Aa	3	50	30	20			
2	40-60	10-20	0.3-1.5	711	Aa	3	50	30	20			
3	30-40	10-20	0.3-2.0	688	Aa	4	70	20	10			RW
4	30-40	10-20	0.3-1.2	652	Aa	4	70	20	10			RW
5	40-50	20-30	0.5-1.2	608	Aa-Bb	4	70	20	10			W
6	40-50	10-15	0.3-1.8	581	Aa	4	40	40	20			
7	50-60	20-30	0.3-2.0	502	Aa-Bb	4	70	20	10			
8	50-70	10-40	0.3-1.5	410	Aa-Bb	4	60	20	10	10		
9	80-100	10-30	0.5-3.0	375	Aa-Bb	5	60	30	10			W
10	80-100	30-50	0.3-1.5	335	Bb	5	70	20	10			
11	110-130	100-110	0.3-1.5	300	Bb	5	50	30	10	10		W

*River type: by Kani (1944); **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); ***W: weir; RW: river work

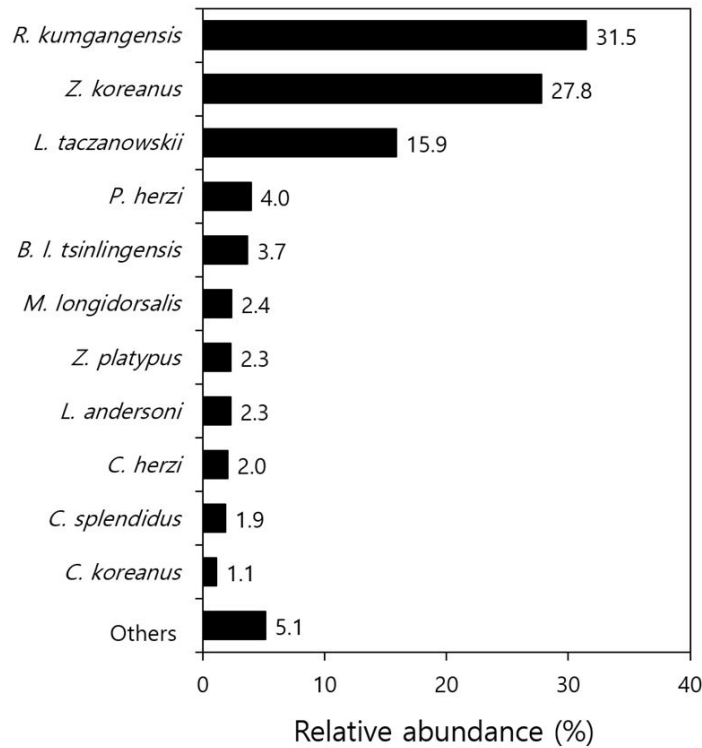


Figure 2. Relative abundance of the fish species found in the Bangtaecheon(Stream), Korea from April to October 2020.

2. 어류상

방태천 어류상 조사 결과 11개 지점에서 채집된 어류는 총 9과 26종 4,640개체였다. 우점종은 금강모치 (*Rhynchocypris kumgangensis*, 31.5%)였고, 아우점종은 참갈겨니(*Zacco koreanus*, 27.8%), 그 다음으로는 새미 (*Ladislavia taczanowskii*, 15.9%), 돌고기(*Pungtungia herzi*, 4.0%), 열목어(*Brachymystax lenok tsinlingensis*, 3.7%), 배가사리(*Microphysogobio longidorsalis*, 2.4%), 피라미(*Z. platypus*, 2.3%), 통가리(*Liobagrus andersoni*, 2.3%) 등의 순으로 우세하게 출현하였다(Figure 2). 출현종 중 한국고유종으로 묵납자루(*Acheilognathus signifer*), 가는돌고기(*Pseudopungtungia tenuicorpa*), 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*), 긴몰개(*Squalidus gracilis majimae*), 어름치(*Hemibarbus mylodon*), 돌상어(*Gobiobotia brevibarba*), 돌마자(*Microphysogobio yaluensis*), 배가사리, 금강모치, 참갈겨니, 새코미꾸리(*Koreocobitis rotundicaudata*), 참종개(*Iksookimia koreensis*), 미유기(*Silurus microdorsalis*), 통가리, 독중개(*Cottus koreanus*), 꺾지(*Coreoperca herzi*), 동사리(*Odontobutis platycephala*) 등 17종(65.4%)이었다. 법정보호종은 천연기념물인 어름치 1종과 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급에 해당하는 묵납자루, 가는돌고기, 돌상어, 열목어 4종 등 5종이 채집되었다(Table 2).

3. 냉수성 어류의 서식현황

본 조사에서 냉수성 어류는 금강모치, 열목어, 독중개, 새미 4종이 출현하였다(Table 2). 냉수성 어종들은 종에 따라 약간씩 다른 서식 양상을 보였는데, 금강모치는 주로 St. 2~7(서식범위 St. 1~7, 9)에 서식하였고 St. 4에서 정점을 보였으며, 새미는 주로 St. 3~4(서식범위 St. 2~7)에 서식하였고 St. 4에서 정점을 보였다. 열목어는 상류부인 St. 1~4(서식범위 St. 1~9)에 많은 개체가 서식하고 있었고 하류로 갈수록 개체수가 급격히 감소하였으며, 독중개는 St. 1~6에 서식하고 비교적 균등하게 서식하고 있었으나 St. 7이하의 중·하류에는 서식하지 않았다(Figure 3).

4. 군집구조 및 특징

조사지점별 출현 종수와 개체수로 군집분석을 한 결과(Table 3), 우점도는 0.59~0.94의 범위로 St. 10에서 0.59로 가장 낮았고, St. 4에서 0.94로 가장 높은 값을 보였으며, 다양도는 0.95~1.92의 범위로 St. 4에서 0.95로 가장 낮고, St. 10에서 1.92로 가장 높은 값을 보였다. 균등도는 0.49~0.92의 범위로 St. 4에서 0.49로 가장 낮고, St. 1에서 가장 높았으며, 종풍부도는 0.50~2.72의 범위로 St. 1에서 0.5로 가장 낮은 값, St. 10에서 2.72로 가장 높은 값을 나타냈다.

Table 2. List of fish species and number of individual fish collected in the Bangtaecheon(Stream), Korea from April to October 2020

Scientific name	Stations											Total	RA* (%)	Remarks**	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
Cyprinidae															
<i>Acheilognathus signifer</i>										2	3	5	0.11	E,EnII	
<i>Pungtungia herzi</i>							11	32	34	39	68	184	3.97		
<i>Pseudopungtungia tenuicarpa</i>							7	8	12	11	5	43	0.93	E,EnII	
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>							7	18	14	10	38	87	1.88	E	
<i>Ladislavia taczanowskii</i>		7	108	545	23	41	14					738	15.91		
<i>Squalidus gracilis majimae</i>										29		29	0.63	E	
<i>Hemibarbus longirostris</i>									2	9	14	25	0.54		
<i>Hemibarbus mylodon</i>									1	3	3	7	0.15	E,N	
<i>Pseudogobio esocinus</i>										6	13	19	0.41		
<i>Gobiobotia brevibarba</i>							5	5		4	4	18	0.39	E,EnII	
<i>Microphysogobio yaluensis</i>										3		3	0.06	E	
<i>Microphysogobio longidorsalis</i>										10	28	72	110	2.37	E
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>												8	0.17		
<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	23	74	196	737	141	187	89		14			1461	31.49	E,C	
<i>Zacco koreanus</i>			23	27	89	111	207	200	146	174	313	1290	27.80	E	
<i>Zacco platypus</i>											107	107	2.31		
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>											1	1	0.02		
Balitoridae															
<i>Orthrias nudus</i>											1	1	0.02		
Cobitidae															
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>					8	2		3	2	3	6	24	0.52	E	
<i>Iksookimia koreensis</i>					8	7		1	2	15	6	39	0.84	E	
Centropomidae															
<i>Silurus microdorsalis</i>				10	4	1						15	0.32	E	
Amblycipitidae															
<i>Liobagrus andersoni</i>					27	32	2	6	9	10	20	106	2.28	E	
Salmonidae															
<i>Brachymystax lenok tsinlingensis</i>	22	52	33	36	3	16	6	2	1			171	3.69	EnII,C,L	
Cottidae															
<i>Cottus koreanus</i>	8	10	11	11	8	5						53	1.14	E,C,L	
Siluridae															
<i>Coreoperca herzi</i>				1	11	13	12	13	16	11	18	95	2.05	E	
Odontobutidae															
<i>Odontobutis platycephala</i>											1	1	0.02	E	
Number of species	3	4	5	7	10	10	10	10	13	17	18	26			
Number of individuals	53	143	371	1,367	322	415	360	288	263	358	700	4,640			

*Relative abundance (%); **E: Korean endemic species, EnII: endangered species rank II, C: climate-sensitive species, N: natural monument, L: land-locked species

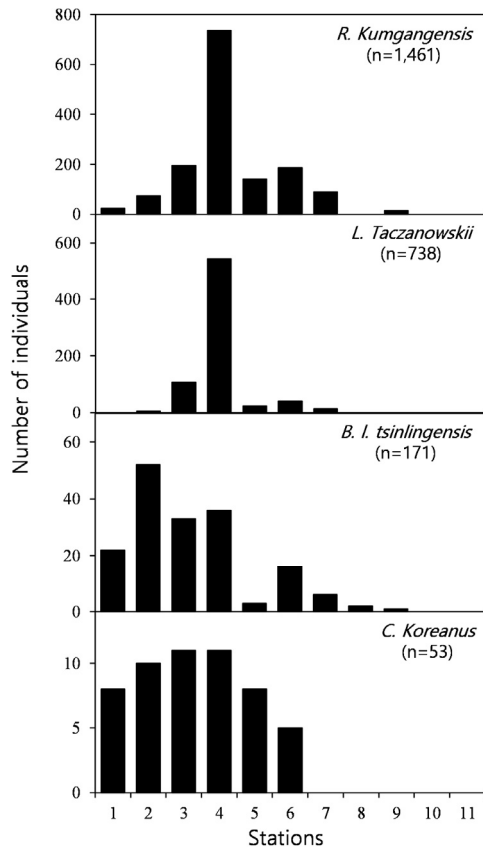


Figure 3. Number of cold-water fishes by stations in the Bangtaecheon(Stream), Korea from April to October 2020.

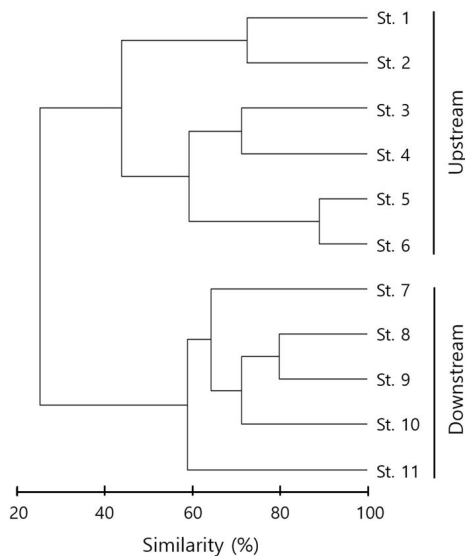


Figure 4. Dendrogram for the cluster analysis based on similarity index of the fish species found among the stations in the Bangtaecheon(Stream), Korea from April to October 2020.

우점도와 균등도는 상류에서 하류로 갈수록 낮아지는 경향을 보였고, 다양도와 풍부도는 상류에서 하류로 갈수록 높아지는 특징을 보였다(Table 3). 군집구조는 Primer 5.0을 이용하여 군집별 유사도를 계산한 후 그림으로 도식한 결과, 하천 상류(St. 1~6)와 하류(St. 7~11)로 크게 2개의 그룹으로 구분되었다(Figure 3).

5. 하천 건강성 평가

방태천의 하천 건강성은 매우 좋음(A) 9개 지점, 좋음(B) 2개 지점으로 하천 건강성은 양호한 것으로 나타났다. St. 5, 6, 7, 10, 11에서 모든 매트릭 값이 최고점으로 100점(매우 좋음)이었고, St. 4, 8, 9에서는 국내종의 총 종수(M1)를 제외한 나머지 매트릭에서 최고점을 받아 93.8점(매우 좋음), St. 3은 국내종의 총 종수(M1)와 여울성 저서종수(M2)를 제외한 매트릭에서 최고점을 받아 87.5점(매우 좋음)이었다. 좋음(B)으로 평가된 지점은 St. 1과 2였는데, St. 1은 국내종의 총 종수와 여울성 저서종수, 민감종수(M3), 국내종의 총 개체수(M7)가 부족하여 75점(좋음)이었고, St. 2는 국내종의 총 종수가 0점, 여울성 저서종수와 민감종수가 부족하여 75점(좋음)으로 나타났다(Table. 4).

고찰

방태천의 선행연구는 환경부 제2차, 제3차, 제4차 전국자연환경조사가 있었는데, 본 조사와 비교해보면, 제2차 전국자연환경조사에서는 7과 19종 782개체가 채집되었고(Byeon and Byeon, 1997; Byeon and Choi, 1997; Cha and Yoon, 1997), 제3차 전국자연환경조사에서는 8과 20종 291개체가 채집되었으며(Choi and Jeong, 2007a; 2007b), 제4차 전국자연환경조사에서는 6과 22종 865개체가 채집되어(Byeon et al., 2013) 본 조사결과(9과 26종 4,640개체)와 차이가 있었다(Table 5). 본 조사결과는 제2차, 제3차, 4차 전국자연환경조사보다 개체수와 종수가 많이 채집되었는데, 이는 선행연구보다 지점 수와 조사횟수가 많아 더 많이 채집된 것으로 판단되었다. 선행연구에서는 채집되었지만 본 조사에서 채집되지 않은 종은 대농갱이(*Leiocassis ussuriensis*), 쏘가리(*Siniperca scherzeri*), 붕어(*Carassius auratus*) 3종이었다. 이 3종 모두 방태천의 최하류 지점과 내린천 합수부 지점에서 출현한 것으로, 본 조사지점에 포함되지 않았기때문에 채집되지 않은 것으로 판단된다. 선행연구에서는 출현하지 않았지만, 본 조사에서 출현한 종은 꼬리(*Opsariichthys uncirostris amurensis*), 대륙종개(*Orthrias nudus*) 2종이었다. 이중 우리나라 종개속(*Othrias*) 어류는 종개와 대륙종개가 있는데,

Table 3. Community indices in the Bangtaecheon(Stream), Korea from April to October 2020

Index	Stations										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Dominance	0.85	0.88	0.82	0.94	0.71	0.72	0.82	0.81	0.68	0.59	0.6
Diversity	1.01	1.04	1.19	0.95	1.6	1.53	1.32	1.16	1.61	1.92	1.88
Evenness	0.92	0.75	0.74	0.49	0.7	0.67	0.57	0.5	0.63	0.68	0.65
Richness	0.5	0.6	0.68	0.83	1.56	1.49	1.53	1.59	2.15	2.72	2.59

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

Index*	Stations										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
M1	6.3	0.0	6.3	6.3	12.5	12.5	12.5	6.3	6.3	12.5	12.5
M2	6.3	6.3	6.3	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
M3	6.3	6.3	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
M4	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
M5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
M6	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
M7	6.3	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
M8	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
FAI (grade)	75 B	75 B	87.5 A	93.8 A	100 A	100 A	100 A	93.8 A	93.8 A	100 A	100 A

*M1: Total number of native fish species, M2: Number of riffle benthic species, M3: Number of sensitive species, M4: Proportion of Individuals as tolerant species, M5: Proportion of individuals as omnivores, M6: Proportion of individuals as native insectivores, M7: Total number of individuals, M8: Proportion of abnormal individuals

An *et al.*(2021)의 형태 및 분포양상에 따라 대륙종개 (*Orthrias nudus*)로 정리하였다. 2종 모두 본 조사에서 매우 적은 개체가 채집된 것으로 보아 소수의 개체가 서식하고 있어 선행연구에서 출현하지 않은 것으로 추정된다. 선행연구의 우세종은 제2차 전국자연환경조사에서 금강모치(*R. kumgangensis*, 30.30.1%), 참갈겨니(24.0%), 쉬리(6.4%), 꺾지(5.6%), 가는돌고기(4.1%), 배가사리(4.1%) 등의 순이었고, 제3차 전국자연환경조사에서는 참갈겨니(34.0%), 꺾지(13.1%), 돌고기(8.9%), 참종개(8.6%), 새코미꾸리(6.9%), 쉬리(5.2%), 제4차 전국자연환경조사에서는 참갈겨니(46.7%), 금강모치(20.2%), 피라미(8.6%), 꺾지(3.2%), 돌고기(3.1%), 참마자(*Hemibarbus longirostris*, 2.5%) 등으로 순으로 우세하게 출현하였다. 본 조사는 금강모치(31.5%), 참갈겨니(27.8%), 새미(15.9%), 돌고기(4.0%), 열목어(3.7%) 등의 순으로 우세하게 출현하여 선행조사와 우세종 및 상대풍부도에 차이를 보였다. 이는 제3차 전국자연환경조사에서는 방태천의 하류부를 조사하였고, 제2차와 제4차 전국자연환경조

사에서는 전체적으로 조사하였지만, 본 조사에서 상류에 비교적 많은 지점(6개 지점)을 선정하여, 하천의 상류에 주로 서식하는 어종(금강모치, 새미, 열목어 등)이 많이 채집되었기 때문에 판단되었다.

방태천은 상류에서 하류로 갈수록 우점도는 감소하고, 풍부도와 다양도는 증가하는 경향을 보였는데, 이는 우리나라의 소형하천에서 일반적으로 일어나는 현상으로(Chae *et al.*, 2014; 2015; Ko *et al.*, 2014, 2019), 하류로 갈수록 합류되는 지류하천이 많아지고, 하천 차수가 증가하며, 유폭이 넓어져서 서식지가 다양해지기 때문에 판단된다. 또한, 하천 건강성등급도 좋음에서 매우 좋음으로 하류로 갈수록 하천 건강성이 좋은 것으로 나타났고, 하류에서는 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급인 가는돌고기, 돌상어, 묵납자루 3종과 천연기념물인 어름치(*H. mylodon*) 1종이 출현하였다.

천연기념물 제259호로 지정된 어름치는 하천의 중·상류의 물이 맑고 자갈이 있는 곳에 주로 서식한다고 보고되었

Table 5. Historical record of ichthyofauna in the Bangtaecheon(Stream), Korea from 1997 to 2020

Scientific name	Number of individuals(RA [#])			
	2nd(1997)*	3rd(2007)**	4th(2013)***	Present study
Number of surveys	2	1	2	3
Number of survey stations	6	10	7	11
Cyprinidae				
<i>Acheilognathus signifer</i>			1 (0.12)	5 (0.11)
<i>Carassius auratus</i>			1 (0.12)	
<i>Pungtungia herzi</i>	24 (3.07)	26 (8.93)	27 (3.12)	184 (3.97)
<i>Pseudopungtungia tenuicarpa</i>	32 (4.09)	10 (3.44)	2 (0.23)	43 (0.93)
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	50 (6.39)	15 (5.15)	16 (1.85)	87 (1.88)
<i>Ladislavia taczanowskii</i>	28 (3.58)		7 (0.81)	738 (15.91)
<i>Squalidus gracilis majimae</i>			3 (0.35)	29 (0.63)
<i>Hemibarbus longirostris</i>	4 (0.51)	3 (1.03)	22 (2.54)	25 (0.54)
<i>Hemibarbus mylodon</i>		4 (1.37)	20 (2.31)	7 (0.15)
<i>Pseudogobio esocimus</i>	6 (0.77)	2 (0.69)	8 (0.92)	19 (0.41)
<i>Gobiobotia brevibarba</i>	9 (1.15)	12 (4.12)	1 (0.12)	18 (0.39)
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	2 (0.26)			3 (0.06)
<i>Microphysogobio longidorsalis</i>	32 (4.09)	9 (3.09)	19 (2.20)	110 (2.37)
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>			3 (0.35)	8 (0.17)
<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	236 (30.18)	3 (1.03)	175 (20.23)	1461 (31.49)
<i>Zacco koreanus</i>	188 (24.04)	99 (34.02)	404 (46.71)	1290 (27.80)
<i>Zacco platypus</i>	2 (0.26)	8 (2.75)	74 (8.55)	107 (2.31)
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>				1 (0.02)
Balitoridae				
<i>Orthrias nudus</i>				1 (0.02)
Cobitidae				
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>	13 (1.66)	20 (6.87)	4 (0.46)	24 (0.52)
<i>Iksookimia koreensis</i>	31 (3.96)	25 (8.59)	13 (1.50)	39 (0.84)
Bagridae				
<i>Leiocassis ussuriensis</i>		4 (1.37)		
Siluridae				
<i>Silurus microdorsalis</i>	4 (0.51)	2 (0.69)		15 (0.32)
Amblycipitidae				
<i>Liobagrus andersoni</i>	30 (3.84)	8 (2.75)	18 (2.08)	106 (2.28)
Salmonidae				
<i>Brachymystax lenok tsinlingensis</i>	16 (2.05)	1 (0.34)	14 (1.62)	171 (3.69)
Cottidae				
<i>Cottus koreanus</i>	31 (3.96)		5 (0.58)	53 (1.14)
Centropomidae				
<i>Siniperca scherzeri</i>		1 (0.34)		
<i>Coreoperca herzi</i>	44 (5.63)	38 (13.06)	28 (3.24)	95 (2.05)
Odontobutidae				
<i>Odontobutis platycephala</i>		1 (0.34)		1 (0.02)
Total number of family	7	8	6	9
Total number of species	19	20	22	26
Total number of individuals	782	291	865	4,640

#RA: Relative abundance (%); *The 2nd national environment investigation of freshwater fish(Byeon and Byeon, 1997; Byeon and Choi, 1997; Cha and Yoon, 1997); **The 3rd national environment investigation of freshwater fish(Choi and Jeong, 2007a; 2007b); ***The 4rd national environment investigation of freshwater fish(Byeon *et al.*, 2013)

Table 6. Water temperature in the Bangtaecheon(Stream), Korea from April to June

Months	Stations										
	Water temperature (°C)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
April	8.0	9.0	8.8	7.6	7.6	7.1	7.5	8.6	7.8	7.8	9.4
June	15.1	16.0	18.5	22.8	21.4	21.6	20.8	22.9	23.3	24.4	24.5
Average	11.6	12.5	13.7	14.9	14.2	14.4	14.2	15.7	15.5	16.1	17.0

고(Kim, 1997; Kim and Park, 2007), 본 조사에서는 하천의 하류(St. 9~11)에서 소수가 채집되었는데, 이는 내린천에서 서식하는 개체가 소소한 것으로 추정되었다. 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급 중 열목어는 한강의 상류와 낙동강 상류에 분포하는 냉수성어류로 고도가 높고(400m 이상) 유속은 좁으며 큰돌의 비율이 높은 곳에서 서식한다고 보고되었으며(Kim, 1997; Kim and Park, 2007; Ko *et al.*, 2021), 특히 내린천 상류부와 내린천 지류 방태천은 우리나라 최대 서식지로 보고된 바 있다(Ko *et al.*, 2021). 본 조사에서도 고도가 375~787m로 높은 방태천 중상류의 큰돌과 바위가 많으며 수심이 비교적 깊은 곳에 많은 개체가 서식하고 있어 주목되었다. 가는돌고기는 하천 상류의 맑은 물이 흐르고 자갈이 깔린 여울부에 서식하는 종으로 수질오염, 하천 정비공사와 댐 건설로 인해 서식지가 감소하고 있다고 보고되었다(Kim, 1997; Kim and Park, 2007). 본 조사에서는 방태천의 중·하류(St. 7~11)에서 다수의 개체가 서식하고 있었다. 돌상어는 유속이 빠르고 자갈과 돌의 비율이 높은 여울에 주로 서식하는 저서성 소형어류 보고되었으나(Kim, 1997; Kim and Park, 2007; NIBR, 2019), Ko *et al.*(2011)에서는 큰돌과 돌의 비율이 높고 빠른 여울에서 서식한다고 보고한 바 있어 하상에 차이를 보였는데, 본 조사에서는 큰돌과 돌의 비율이 높은 여울(St. 7, 8, 10, 11)에서 출현하여 Ko *et al.*(2011)과 좀더 일치하였다. 묵납자루는 하천의 중·상류의 유속이 느리며, 큰돌과 돌로 구성된 곳에 주로 서식하고, 담수산 작은말조개(*Unio douglasiae simuolatus*)와 곳체두드럭조개(*Lamprotula leai*)에 산란하는 것으로 보고된 바 있다(Beak, 2005; Kim, 2014). 본 조사에서는 방태천 하류(St. 10, 11)의 유속이 느리고 큰돌과 돌의 비율이 높은 곳에서 소수 채집되었으며 조개는 작은말조개만이 서식하고 있어 Beak(2005)의 결과와 유사하였다.

방태천에는 냉수성 어종으로 금강모치, 열목어, 독중개, 새미가 출현하였는데, 냉수성 어종은 지구온난화에 따라 서식지가 축소되는 것을 확인할 수 있는 지표종으로 수온이 낮은 하천에 서식한다(Hong, 2018). 본 조사에서 냉수성 어종들은 지점에 따라 다른 서식 양상을 보였는데, 주로 금강모치는 St. 2~7, 새미 St. 3~6, 열목어 St. 1~7, 독중개 St. 1~6에 서식하고 있었다(Figure. 4, Table 2). 지점별로

냉수성 어종이 다르게 출현한 이유는 어종별 온도에 대한 내성도 및 적정 수온, 미소서식지가 다르기 때문으로 판단된다. 냉수성 어종의 서식수온은 열목어와 독중개가 여름철 수온이 20°C이하인 곳에서 주로 서식하고(Choi *et al.*, 2002; NIBR, 2019), 독중개의 최대 내성 온도는 25°C, 새미는 26°C, 금강모치는 27°C로 보고되었다(Chung *et al.*, 2011). 따라서 하천의 하류로 갈수록 수온이 높아지기 때문에(Table 6), 하류에서는 서식 개체가 적거나 없었던 것으로 추정되었으나 이화학적 환경요인에 대한 보다 정밀한 조사도 필요하다고 생각된다. 최상류의 경우 수온이 낮지만, 금강모치와 새미는 많은 개체가 채집되지 않았는데, 이는 하천 규모가 작아 이들 어류의 선호 미소서식지가 없거나, 작은 물고기를 포식하는 열목어(Byeon, 1995 *et al.*; Kim, 1997; Kim and Park, 2007)가 서식하고 있어, 피식자인 금강모치와 새미가 적게 서식하는 것으로 추정되었다.

방태천은 물이 맑고 서식지가 잘 보존되어 어류가 안정적으로 서식하고 있었고 하천 건강성도 매우 좋음과 좋음으로 양호하게 평가되었으며 범정보호종인 환경부지정 멸종위기 야생생물 4종과 천연기념물 1종이 서식하고 있었다. 특히 방태천 상류부는 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급인 열목어의 우리나라 최대 서식지 중 하나이고(Ko *et al.*, 2021), 냉수성 어류인 열목어와 금강모치, 새미, 독중개 4종이 집단으로 서식하고 있어 보존 가치가 매우 높았다. 하지만 이 지역은 최근 점봉산 최상부가 설악산국립공원으로 추가 지정되고 탐방객이 증가하면서 팬션 및 식당 등이 지속적으로 증가하고 있으며 도로공사 및 하천정비공사가 진행되면서 하천생태계가 교란되고 있었다. 따라서 환경부지정 멸종위기 야생생물인 열목어와 냉수성 어류의 집단서식지를 보호하기 위해서는 천연기념물 또는 생태계보전지구 지정 등 적극적인 보호방안이 필요하다고 판단되며, 지속적인 관심과 체계적인 보존방안 마련이 요구된다.

REFERENCES

- An, J.H., B.J. Kim and Y.S. Bae(2021) Distribution of the Korean *Barbatula* Species Reviewed by the Morphological Traits of

- Nostrils, Korean Journal of Ichthyology 33: 117-125. (in Korean with English abstract)
- An, K.G. and S.J. Lee(2018) Ecological health assessments, conservation and management in Korea using fish multi-metric model. Korean Journal of Ecology and Environment 51: 86-95. (in Korean with English abstract)
- Beak, 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)
- Byeon, H.K. and J.S. Choi(1997) The 2nd nation environment investigation. Fresh water fishes of the Inje, Yangyang, Jeombongsan area. Ministry of Environment, 46pp. (in Korean)
- Byeon, H.K. and M.S. Byeon(1997) The 2nd nation environment investigation. Fresh water fishes of the Inje, Yangyang, Bangtaesan area. Ministry of Environment, 32pp. (in Korean)
- Byeon, H.K., K.S. Cho, J.C. Choi, J.H. Park, J.K. Choi, Y.M. Son and S.R. Jeon(1995) Diet of Manchurian trout (*Brachymystax lenok tsinlingensis*) at Jindong Stream. Korean Journal of Limnology 28: 279-287. (in Korean with English abstract)
- Byeon, H.K., M.H. Yoon and J.H. Bae(2013) The 4rd nation environment investigation. Fresh water fishes of the Bangtaecheon whole area. Ministry of Environment, 7pp. (in Korean)
- Cha, J.Y. and H.N. Yoon(1997) The 2nd nation environment investigation. Fresh water fishes of the Inje, Yangyang, Bangtaesan area. Ministry of Environment, 19pp. (in Korean)
- Chae, B.S., S.K. Kim, Y.H. Kang, N.S. Heo, J.M. Park, H.U. Ha and U.W. Hwang(2015) Ichthyofauna and fish community structure in upper reach of the Nakdong River, Korea. Korean Journal of Ichthyology 27: 116-132. (in Korean with English abstract)
- Chae, B.S., Y.H. Kang, S.K. Kim, D.U. Yoo, J.M. Park, H.U. Ha and U.W. Hwang(2014) Ichthyofauna and fish community structure in the Yeong River, Nakdong River System, Korea. Korean Journal of Ichthyology 26: 50-69. (in Korean with English abstract)
- Choi, K.C, S.R. Jeon, I.S. Kim and Y.M. Son(2002) Coloured illustrations of the freshwater fishes of Korea. Hyangmunsa Press Co., Seoul, pp.154-156. (In Korean)
- Choi, Y. and H.J. Jeong(2007a) The 3rd nation environment investigation. Fresh water fishes of the Bangdong area. Ministry of Environment, 4pp. (in Korean)
- Choi, Y. and H.J. Jeong(2007b) The 3rd nation environment investigation. Fresh water fishes of the Hyeonri area. Ministry of Environment, 4pp. (in Korean)
- Chung, N.M., B.Y. Park and K.H. Kim(2011) Potential effect of increased water temperature on fish habitats in Han River Watershed. Journal of Korean Society on Water Quality 27: 314-321. (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 water. The American Midland Naturalist 67: 477-504.
- Hong, Y.P.(2018) Preservation of freshwater fish - Proposal of a natural monument candidate freshwater fish species. The Korean Association for Conservation of Nature, Seoul, 17pp. (in Korean)
- ISK(Ichthyological Society of Korea)(2003) The introduced fishes of Korea. Proceedings of 2002 Symposium of the Ichthyological Society, 128pp. (in Korean)
- Kani, T.(1944) Ecology of the aquatic insects inhabiting a mountain stream. In: H. Furukawa(eds.), 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, 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)
- KNPS(Korea National Park Service)(2012). Natural resource survey of Seoraksan National Park (Jeombongsan). Korea National Park Research Institute, Wonju, 316pp. (in Korean)
- KNPS(Korea National Park Service)(2020). Natural resource survey of Seoraksan National Park. Korea National Park Research Institute, Wonju, 1608pp. (in Korean)
- KNPS(Korea National Park Service)(2022) Introduce Seoraksan National Park. Retrieved from <https://www.knps.or.kr/front/portal/visit/visitCourseSubMain.do?parkId=120400&parkName=vGb=park&menuNo=7020093>. Version (30/12/2021)
- 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., R.H. 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 Ichthyology 33: 266-279. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H., S.J. Moon and I.C. Bang(2011) Study of the fish

- community structure and inhabiting status of the endangered species *Gobiobotia macrocephala* and *G. breviarba* in the Seom River, Korea. *Korean Journal of Limnology* 44: 144-154. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H., Y.K. Hong, H.L. Kim and I.C. Bang(2014) Community structure of fish and inhabiting status of natural monument *Cobitis choii* in the Baekgok Stream, a tributary of the Geum River drainage system of Korea. *Korean Journal of Ichthyology* 26: 99-111. (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, W.O., H. Yang, S.W. Yoon and J.Y. Park(2009) Study on the feeding of *Micropterus salmoides* in lake Okjeong and lake Yongdam, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* 21: 200-207. (in Korean with English abstract)
- MAFRA(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs)(2010) The national survey of low head dams and development of database in Korea, 275pp. (in Korean)
- Margalef, R.(1958) Information theory in ecology. *General Systems* 3: 36-71.
- McNaughton, S.J.(1967) Relationships among functional properties of Californian Glassland. *Nature* 216: 144-168.
- ME(Ministry of Environment) and NIE(National Institute of Ecology)(2019) Ecological survey of Baekdudaegan protected areas (Sinbaeryeong~Daeganryeong). Ministry of Environment, National Institute of Ecology, Seochon, 450pp. (in Korean)
- ME(Ministry of Environment) and NIE(National Institute of Ecology)(2021a) Comprehensive summary report of the ecological survey of Baekdudaegan protected areas. National Institute of Ecology, Seochon, 564pp. (in Korean)
- ME(Ministry of Environment) and NIE(National Institute of Ecology)(2021b) Comprehensive summary report of the ecological survey in DMZ(Demilitarized zone) surrounding areas. National Institute of Ecology, Seochon, 552pp. (in Korean)
- Nelson, J.S.(2006) *Fishes of the world*(4th ed.). John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, 601pp.
- NIBR(National Institute of Biological Resources)(2011) Red data book of endangered fishes in Korea. National Institute of Biological Resources, Incheon, 203pp. (in Korean)
- NIBR(National Institute of Biological Resources)(2019) Red data book of endangered fishes in Korea. National Institute of Biological Resources, Incheon, 254pp. (in Korean)
- NIER(National Institute of Environmental Research)(2016) Survey and evaluation method for river and stream ecosystem health assessment. National Institute of Environmental Research, 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, Incheon, 131pp. (in Korean)
- Nishimura, S.(1974) *History of Japan sea: Approach from biogeography*. Tsukiji-Shokan, Tokyo, 274pp. (in Japanese with English abstract)
- NPRI(National Park Research Institute)(2019) 2019 National Park resource survey. Freshwater fishes. National Park Research Institute, Wonju, 97pp. (in Korean)
- Pielou, E.C.(1966) Shannon's formula as a measure of specific diversity. *The American Naturalist* 100: 463-465.
- Pielou, E.C.(1975) *Ecological diversity*. John Wiley, New York, 165pp.
- Yeom, D.H., S.A. Lee, G.S. Kang, J. Seo and S.K. Lee(2007) Stressor identification and health assessment of fish exposed to wastewater effluents in Miho stream, South Korea. *Chemosphere* 67: 2282-2292.
- 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.