

설악산국립공원 내 북천의 어류군집 특성 및 멸종위기종의 서식양상^{1a}

박승철^{2*} · 최광식³ · 한미숙⁴ · 고명훈⁵

Fish Community Characteristics and Inhabiting Status of Endangered Species in the Bukcheon (Stream) of Seoraksan National Park, Korea^{1a}

Seong-Cheol Park^{2*}, Kwang-Seek Choi³, Mee-Sook Han⁴, Myeong-Hun Ko⁵

요약

설악산국립공원 내 북천의 어류군집 특성 및 멸종위기종의 서식현황을 밝히기 위해 2020년 4월부터 9월까지 조사를 실시하였다. 조사기간 동안 17개 지점에서 채집된 어류는 총 7과 22종 4,356개체였다. 우점종은 참갈겨니(*Zacco koreanus*, 41.8%), 아우점종은 금강모치(*Rhynchocypris kumgangensis*, 15.1%)였으며, 그 다음으로 돌고기(*Pungtungia herzi*, 10.1%), 가는돌고기(*Pseudopungtungia tenuicorpa*, 5.0%), 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*, 4.1%), 피라미(*Z. platypus*, 3.8%), 배가사리(*Microphysogobio longidorsalis*, 3.5%), 어름치(*Hemibarbus mylodon*, 2.2%) 등의 순으로 우세하였다. 출현종 중 한국고유종은 14종(63.6%)이 확인되어 상대비율이 높았다. 법정보호종은 천연기념물 어름치 1종과 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급의 묵납자루(*Acheilognathus signifer*), 가는돌고기, 돌상어(*Gobiobotia brevibarba*), 열목어(*Brachymystax lenok tsinlingensis*) 4종이 출현하였는데, 열목어는 상류부에, 어름치와 묵납자루, 가는돌고기, 돌상어는 중·하류에 주로 서식하고 있었으며, 어름치와 가는돌고기, 열목어는 서식개체수가 많았다. 기후변화민감종(냉수성 어종)은 금강모치와 열목어 2종이 확인되었다. 군집분석 결과, 상류에서 하류로 갈수록 우점도는 낮아지나 다양도와 균등도, 풍부도는 높아지는 경향을 보였으며, 군집구조는 최상류와 상류, 중류, 하류로 구분되었다. 북천의 수질은 전체적으로 매우 좋음으로 평가되었고, 어류를 이용한 하천 건강성은 매우 좋음(11개 지점), 좋음(2개 지점), 보통(4개 지점)으로 평가되어 양호하였다. 하지만 일부지역에서 하천공사가 진행되고 중류부에서 생활하수가 유입되고 있어, 이에 대한 어류 서식지 보존 대책이 요구되었다.

주요어: 어류상, 하천건강성 평가, 수질

1 접수 2022년 3월 14일, 수정 (1차: 2022년 4월 30일, 2차: 2022년 5월 29일), 게재확정 2022년 6월 15일

Received 14 March 2022; Revised (1st: 30 April 2022, 2nd: 29 May 2022); Accepted 15 June 2022

2 국립공원공단 국립공원연구원 책임연구원 Korea National Park Service, National Park Research Institute, 171 Danguro, Wonjusi, Gangwon-do, 26441, Korea (bong82@knps.or.kr)

3 고수생태연구소 연구원 Kosoo Biology institute, 49 Mokdongjungangnamro14gagil, Yangcheon-gu, Seoul-si, 07955, Korea (cgs05@naver.com)

4 고수생태연구소 대표이사 Kosoo Biology institute, 49 Mokdongjungangnamro14gagil, Yangcheon-gu, Seoul-si, 07955, Korea (kosoeco@gmail.com)

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

a 이 논문은 국립공원공단 국립공원연구원 4기 국립공원 공원자원조사의 지원을 받아 수행된 연구임

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

ABSTRACT

This study investigated the characteristics of fish communities and inhabiting status of endangered species in the Bukcheon (Stream) of Seoraksan National Park, Korea from April to September 2020. A total of 4,356 fish of 7 families and 22 species were collected from 17 survey stations during the survey period. The dominant species was *Zacco koreanus* (relative abundance, 41.8%), and subdominant species was *Rhynchocypris kumgangensis* (relative abundance, 15.1%), followed by *Pungtungia herzi* (10.1%), *Pseudopungtungia tenuicorpa* (5.0%), *Coreoleuciscus splendidus* (4.1%), *Zacco platypus* (3.8%), *Microphysogobio longidorsalis* (3.5%), and *Hemibarbus mylodon* (2.2%). Among the fish species collected, 14 species (63.6%) were identified as Korean endemic species. There was one natural monument species (*Hemibarbus mylodon*), and four species of class II endangered wildlife that were designated by the Ministry of Environment (*Acheilognathus signifer*, *Pseudopungtungia tenuicorpa*, *Gobiobotia brevibarba*, and *Brachymystax lenok tsinlingensis*). Among the four species of class II endangered wildlife, *B. lenok tsinlingensis* inhabited in the upper stream, and *A. signifer*, *P. tenuicorpa* and *G. brevibarba* inhabited mainly in the middle-lower stream. Also, *P. tenuicorpa*, *H. mylodon*, and *B. lenok tsinlingensis* were inhabited in large numbers. Additionally, two cold-water fish species (*R. kumgangensis* and *B. lenok tsinlingensis*) and one landlocked species (*B. lenok tsinlingensis*) were collected. According to the results of cluster analysis, the dominance index decreased from upstream to downstream, but the diversity, evenness, and richness index increased; the cluster structure was divided into the uppermost, upstream, midstream, and downstream. The water quality of Bukcheon was evaluated as good overall since the river health (index of biological integrity) evaluated using fish was evaluated as very good (11 stations), good (2 stations), and normal (4 stations). However, river repair work was being carried out in some areas and some wastewater was flowing in from the midstream, therefore, supplementary measures to preserve fish habitats are required.

KEY WORDS: FISH FAUNA, RIVER ECOSYSTEM HEALTH ASSESSMENT, WATER QUALITY

서론

우리나라 담수어류는 하천생태계의 먹이사슬 최상위 소비자로서 하천생태계를 대표하고 과거로부터 현재까지 이어진 지질학적 역사로 인한 어류의 이동 및 종분화, 생태적 상호작용을 통해 현재의 독특한 분포양상을 보인다(Nishimura, 1974; Kim, 1997; Moyle and Cech, 2000; Yoo *et al.*, 2016). 최근 농경을 위한 치수관리로 보와 저수지, 댐, 하구둑이 건설되었고 외래종의 도입, 하천정비공사, 수환경오염 등의 인위적인 요인으로 인해 어류상 및 군집구조에 큰 영향을 미치고 있으며(Jang *et al.* 2006; Kwater, 2007; MAFRA, 2010; Ko *et al.*, 2017), 이러한 영향으로 많은 종들이 멸종위기에 처한 것으로 보고되고 있다(NIBR, 2011; 2019). 이러한 측면에서 국립공원은 DMZ 민통선이 북지역, 백두대간과 함께 인간의 간섭이 최소화된 지역으로 자연생태계의 보고로 알려져 있다(NPRI, 2019; ME and

NIE, 2021a; 2021b).

설악산은 1970년 한라산, 속리산과 함께 국립공원으로 지정되었고 행정구역상 강원도 인제군과 고성군, 속초시, 양양군에 걸쳐 있으며 공원면적은 398.2km²이다(KNPS, 2022). 북천은 설악산국립공원에 포함된 하천 중 가장 큰 하천으로, 설악산 신선봉(해발 1,204m)에서 발원하여 서남쪽으로 흘러 인북천에 합류되는 지방2급 하천이고, 신선봉, 대청봉(1,708m), 매봉산(1,271m), 황철봉(1,319 m) 등의 고도가 높은 산들로 둘러싸여 있어 산간계류가 잘 발달되어 있다. 또한 하천연장 22.5km, 유로연장 30.2km, 유역면적 304.15km²이고, 주요 지류로 영실천과 한계천 등이 있으며, 주변은 대부분 임야이며 일부 지역에 좁은 농경지와 민가가 분포한다(Kwater, 2007).

북천의 선행연구로 설악산국립공원 공원자원조사로 1기(MHA, 1992), 2기(KNPS, 2000), 3기(KNPS, 2010)가 실시되었고, 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급 중 열목어

(*Brachymystax lenok tsinlingensis*)의 집단서식지로 밝혀졌으며(Ko *et al.*, 2021), 그 외 천연기념물로 지정된 어름치(*Hemibarbus mylodon*)와 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급의 가는돌고기(*Pseudopungtungia tenuicorpa*), 돌상어(*Gobiobotia brevibarba*) 등이 서식하는 것이 보고되었다(KNPS, 2000; 2010; NIBR, 2011; 2019).

본 연구는 설악산국립공원 내에 위치하는 북천의 어류상을 조사하여 어류군집 특성과 범정보호종의 서식양상을 파악하고, 어류를 이용하여 하천 건강성을 평가하며, 나아가 선행연구와 비교하여 변화양상 및 관리방안을 제시하고자 하였다.

연구방법

1. 조사지점 및 기간

본 연구는 2020년 봄(4월 15~19일), 여름(6월 13~18일), 가을(9월 27~31일)로 나누어 서식 어류와 수환경을 3회 조사하였다. 조사지점은 북천의 다양한 서식지가 포함되도록 본류와 지류 등을 포함하여 3~5km 간격으로 17개 지점을 선정하였다. 각 조사지점의 행정구역 및 GPS는 다음과 같다(Figure 1).

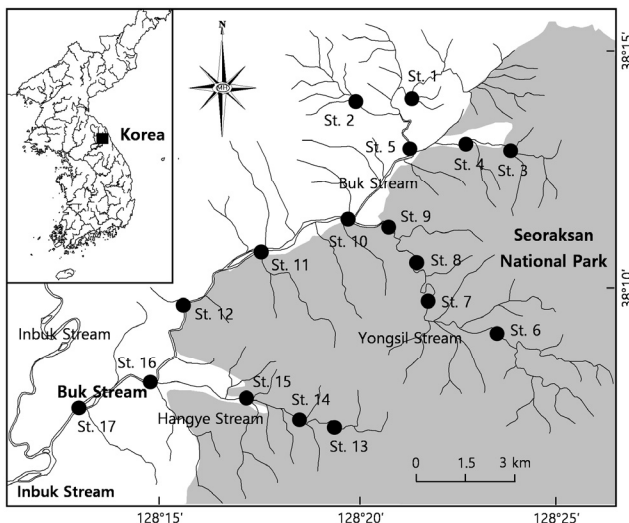


Figure 1. Study stations in the Bukcheon(Stream) of Seoraksan National Park(gray region), Korea.

<북천 상류>

St. 1. 강원도 인제군 북면 용대리(38.235661N, 128.368752E)

St. 2. 강원도 인제군 북면 용대리 용대자연휴양림

(38.236705N, 128.344306E)

St. 3. 강원도 인제군 북면 용대리 도적폭포(38.216235N, 128.420581E)

St. 4. 강원도 인제군 북면 용대리(38.220367N, 128.402805E)

St. 5. 강원도 인제군 북면 용대리 북촌1교(38.218493N, 128.370391E)

<영실천>

St. 6. 강원도 인제군 북면 용대리 염시암(38.152191N, 128.405265E)

St. 7. 강원도 인제군 북면 용대리 백담사(38.166562N, 128.376178E)

St. 8. 강원도 인제군 북면 용대리(38.181698N, 128.368707E)

St. 9. 강원도 인제군 북면 용대리 내가평교(38.193170N, 128.355383E)

St. 10. 강원도 인제군 북면 용대리 내가평교(38.193583N, 128.341217E)

<북천 중·하류>

St. 11. 강원도 인제군 북면 용대리 십이선녀탕교(38.184053N, 128.301324E)

St. 12. 강원도 인제군 북면 원통리 쇠리교(38.164752N, 128.263579E)

St. 16. 강원도 인제군 북면 한계리(38.135942N, 128.250788E)

St. 17. 강원도 인제군 북면 원통리(38.130139N, 128.224611E)

<한계천>

St. 13. 강원도 인제군 북면 한계리 한계2교(38.111135N, 128.361193E)

St. 14. 강원도 인제군 북면 한계리(38.118591N, 128.336927E)

St. 15. 강원도 인제군 북면 한계리 쇠리교(38.127379N, 128.299244E)

2. 어류의 채집

어류의 채집은 투망(망목 6×6mm, 10회)과 족대(망목 4×4mm, 30분)를 이용하여 지점별로 200m 구간 내에서 실시하였고, 채집된 개체는 현장에서 육안으로 동정·계수한 후 어족자원 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.

3. 서식지 환경

서식지 환경 중 수문학적 요인인 하폭과 유폭, 수심 등은 거리 측정용 망원경(Yardage pro Tour XL, BUSHNELL, Japan)과 줄자를 이용하여 측정하였고, 하천형은 Kani (1944), 하상구조는 Cummins(1962)의 방법에 따랐다. 또한 하천차수(stream order)는 축척 1 : 120,000 기준으로 계산하였으며, 고도는 Google Earth(Google Earth Pro, USA)의 정보를 이용하였다. 이·화학적 환경은 조사시기별로 디지털 온도계(T-250A, ASAHI, Japan)와 수질측정기(HI-9828, Romania)를 이용하여 수온, 전기전도도(Conductivity)와 염도(salinity), 용존산소량(DO), 수소이온농도(pH) 등을 측정하였다. 또한 2020년(1~12월)의 수질 특성을 알아보기 위하여 수질측정망 중 본 연구지역에 위치한 복천관측소(St. 16과 St. 17 사이 위치)의 자료(용존산소량, 생물학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), 부유물질(SS), 총질소(TN), 총인(TP), 수소이온농도(pH), 총유기탄소량(TOC), 전기전도도, 총대장균군수(TC), 분원성대장균수, 클로로필-a(Chl-a))를 이용하여 연평균 값을 계산하였고, 수질 등급은 물환경정보시스템의 수질 및 수생태계 환경기준에 따라 7단계(매우 좋음, 좋음, 약간 좋음, 보통, 약간 나쁨, 나쁨, 매우 나쁨)로 나누어 평가하였다(WEIS, 2020).

4. 군집 분석 및 하천 건강성 평가

어류의 군집 특성을 밝히기 위해 우점도(Dominance index)와 다양도(Diversity index), 균등도(Evenness index), 풍부도(Richness index) 지수를 산출하였다(Margalef, 1958; McNaughton, 1967; Pielou, 1966; 1975). 군집구조는 조사 지점별 출현 종과 개체 수를 근거로 Primer 5.0(PRIMER E Ltd, UK)을 이용하여 Bray-Curtis 유사도를 계산한 후 도식화하였다. 조사지점들의 건강성은 우리나라 하천 건강성 평가를 위해 개발된 모델(IBM)을 이용하여 하천 차수(stream order)에 따라 8개의 매트릭(M1: 국내 종의 총 종수, M2: 여울성 저서 종수, M3: 민감종수, M4: 내성종의 개체수 비율, M5: 잡식종의 개체수 비율, M6: 국내 종의 총식종 개체수 비율, M7: 채집된 국내 종의 총 개체수, M8: 비정상 종의 개체수 비율) 별로 값을 계산한 후 합산하여 어류생물지수(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, 2019).

결 과

1. 서식지 특징

설악산국립공원 복천은 주위가 대부분 높은 산으로 둘러싸여 있어 계곡이 발달하였고 농경지와 주거지가 비교적 적었으며 조사지역 대부분이 설악산국립공원 내 또는 인근 지역으로 자연환경이 비교적 잘 보존되어 있었다. 조사지점의 하폭은 13~200m, 유폭은 5~130m로 비교적 범위가 넓었으며, 수심은 대부분 0.3~1.5m 였으나 St. 7은 깊은 소가 형성되어 있어 5.0m로 깊었다. 고도는 232~606m였고, 하천형은 계곡형(Aa type) 또는 상류형(Aa-Bb type)이었으며, 하천차수는 2~5차, 하상은 대부분 큰돌(boulder)과 돌(cobble)이 매우 높은 비율을 차지하였다. 하천에 보가 설치된 지점은 St. 2, 5, 9, 11, 17 5개 지점이었으며, 이중 St. 2, 5, 11, 17은 어도가 설치되어 있었다. 조사시간 중 하천공사가 진행되는 지점은 St. 4, 11이었는데, St. 11은 봄에 준설이 이루어졌고, St. 4는 여름의 홍수로 인한 수해 복구공사가 가을에 진행되었으며, St. 5, 17의 인근지역(1km 이내)에서도 하천공사가 관찰되었다(Table 1).

수온은 4월 6~9℃, 6월 18~28℃, 9월 13~18℃로 6월이 가장 높았고, 지점별에서는 최상류와 하류가 4월에는 1~2℃로 차이가 적었으나 6월에는 4~8℃로 비교적 큰 차이를 보였다. 전기전도도는 St. 13~14(봄 157~185 μ S/cm)를 제외하고 100 μ S/cm 이하로 낮았고, 염도도 St. 13~14(봄 0.07~0.09‰)를 제외하고 0.05‰이하로 낮았다. 용존산소량은 4월 11~14mg/L, 6월 6~8mg/L, 9월 7~9mg/L로 4월이 높고 6월이 가장 낮았으며, pH는 대부분 6.8~7.5로 중성에 가까웠다. 본 조사 장소에 포함되는 복천관측소의 2020년 수질의 연평균은 용존산소량 10.77mg/L, 생물학적 산소요구량 0.49mg/L, 화학적 산소요구량 1.68mg/L, 부유물질 0.47mg/L, 총질소 1.10mg/L, 총인 0.01mg/L, 수소이온농도 7.2~8.5, 총유기탄소량 1.23mg/L, 전기전도도 85 μ S/cm, 총대장균군수 1951(총대장균군수/100mL), 분원성대장균수 42.8, 클로로필a 0.725mg/m³ 로 나타났으며, 환경부의 하천 생활환경기준 7단계로 평가하면 총대장균군수(약간좋음)와 분원성대장균수(좋음)를 제외한 생물학적산소요구량, 총유기탄소량, 부유물질, 용존산소량, 총인은 가장 양호한 등급인 매우 좋음이었다.

2. 어류상

조사기간 동안 17개 지점에서 채집된 어류는 총 7과 22종 4,356개체였다(Table 2). 과별 출현종수는 잉어과(Cyprinidae)

Table 1. Physicochemical environments and hydrological factors at the study stations in the Bukcheon(Stream) of Seoraksan National Park, Korea from April to September 2020

St.	River width (m)	Water width (m)	Water depth (m)	Altitude (m)	River type*	Stream order	Bottom structure(%)**												Water temperature (°C)	Conductivity (µS/cm)	Salinity (%)	DO (mg/L)	pH	Etc***		
							S	G	P	C	B	A	J	S	A	J	S	A							J	S
1	60-80	10-30	0.3-1.5	447	Aa	3	10	10	30	30	20	7.2	18.5	15.2	26	25	14	0.01	0.01	12.15	6.52	8.24	7.55	6.80	7.24	
2	15-20	5-10	0.3-1.5	479	Aa	3	10	20	70	6.2	18.3	13.2	32	34	21	0.02	0.02	0.01	12.31	6.10	8.65	7.55	6.80	7.27	W	
3	13-17	8-10	0.3-1.5	606	Aa	2	10	20	70	6.3	17.8	13.1	25	26	13	0.01	0.01	0.01	12.22	6.40	8.86	7.57	6.86	7.31		
4	25-30	10-15	0.3-1.5	476	Aa	3	10	20	70	7.1	18.5	13.4	36	47	20	0.02	0.02	0.01	11.34	6.52	8.67	7.42	6.82	7.37	RW	
5	80-100	30-50	0.3-1.5	386	Aa	4	10	30	60	7.6	27.7	15.2	75	93	53	0.03	0.04	0.02	11.21	6.18	8.60	7.28	6.89	7.05	W	
6	80-90	30-50	0.1-1.5	527	Aa	4	30	40	30	7.7	23.2	15.6	41	47	38	0.02	0.02	0.02	12.04	6.68	7.90	7.26	6.65	6.90		
7	100-150	30-50	0.3-0.5	473	Aa	4	20	10	50	7.5	25.2	14.6	42	46	41	0.02	0.02	0.02	12.16	6.52	8.78	7.55	6.72	7.01		
8	20-30	10-15	0.5-1.5	419	Aa	4	10	20	70	7.0	25.4	15.1	39	48	22	0.02	0.02	0.01	13.56	6.25	8.74	7.41	6.84	7.22		
9	60-70	30-50	0.5-5.0	365	Aa	4	10	20	30	7.9	24.2	15.0	40	50	23	0.02	0.02	0.01	11.19	6.12	7.43	8.14	6.82	7.30	W	
10	100-120	30-50	0.3-1.2	348	Aa	4	10	20	70	7.9	24.5	15.5	42	53	25	0.02	0.02	0.01	11.54	6.20	7.21	8.12	6.82	7.31		
11	100-120	30-80	0.4-1.2	313	Aa-Bb	5	20	30	50	6.8	22.3	16.1	43	81	57	0.02	0.04	0.03	11.21	6.54	7.45	7.35	7.04	7.10	W,RW	
12	80-100	30-50	0.3-1.5	287	Aa-Bb	5	10	20	70	7.2	23.8	16.3	45	98	60	0.02	0.04	0.03	11.25	7.59	7.25	7.30	6.91	7.21		
13	30-40	10-20	0.3-1.2	564	Aa	2	10	30	60	8.5	25.5	15.7	185	110	43	0.09	0.05	0.02	11.52	6.43	7.57	7.15	6.95	7.22		
14	40-50	7-12	0.3-1.2	490	Aa	2	10	20	70	8.5	27.6	18.4	157	93	47	0.07	0.04	0.02	12.4	7.05	7.72	7.26	6.90	7.45		
15	80-100	20-40	0.3-1.2	341	Aa	3	10	30	60	7.2	21.3	16.8	99	90	47	0.05	0.04	0.02	11.82	6.17	7.70	7.00	6.86	7.18		
16	130-150	50-80	0.5-1.5	247	Aa-Bb	5	20	80	8.3	22.9	17.3	77	104	42	0.04	0.05	0.02	13.82	7.09	7.28	7.15	6.84	7.12			
17	180-200	60-130	0.3-1.5	232	Aa-Bb	5	10	10	30	8.4	22.7	17.5	80	105	45	0.04	0.05	0.02	12.41	7.12	7.42	7.16	6.85	7.15	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); ***W: Weir, RW: River work

Table 2. List of fish species and number of individual fish collected in the Bukcheon(Stream) of Seoraksan National Park, Korea from April to September 2020

Scientific name	Stations																	Total	RA (%)	Rema-rks**	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17				
Cyprinidae																					
<i>Acheilognathus signifer</i>	3															1	4	0.09	EnII,E		
<i>Pungtungia herzi</i>	25	9			20	5	9	25	33	26	45	48				35	96	75	451	10.12	
<i>Pseudopungtungia tenuicorpa</i>	1				13				17	8	37	18					96	32	222	4.98	EnII,E
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	7	10		3	18	9	5		11	13	7	24		8	7	28	32	182	4.09	E	
<i>Squalidus gracilis majimae</i>											34						12	46	1.03	E	
<i>Hemibarbus longirostris</i>					5					2	6	8				9	17	47	1.05		
<i>Hemibarbus mylodon</i>	32				2				1	1	15	11				9	28	99	2.22	N,E	
<i>Pseudogobio esocinus</i>	8										5					5	20	38	0.85		
<i>Gobiobotia brevibarba</i>											6	3					2	11	0.25	EnII,E	
<i>Microphysogobio longidorsalis</i>	5				22					7	9	22				37	52	154	3.46	E	
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	71																2	73	1.64		
<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	35	180	69	102	26	43	11	22	5					27	144	7		671	15.06	E, C	
<i>Zacco koreanus</i>	142	115		37	366	87	49	55	110	98	160	119		43	155	195	132	1863	41.82	E	
<i>Zacco platypus</i>					37					16	34	15				25	42	169	3.79		
Balitoridae																					
<i>Orthrias nudus</i>	8				1					2		1				1	2	15	0.34		
Cobitidae																					
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	2																	2	0.04		
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>	4				5				3	3	6	5				7	2	35	0.79	E	
<i>Iksookimia koreensis</i>	6				9				9	8	14	5			1	19	12	83	1.86	E	
Siluridae																					
<i>Silurus microdorsalis</i>		2					2			3		1		7	2			17	0.38	E	
Amblycipitidae																					
<i>Liobagrus andersoni</i>	4	1			4				5	5	6	6		2	3	3	5	44	0.99	E	
Salmonidae																					
<i>Brachymystax lenok tsinlingensis</i>	4	9	7	5	9	2		3	5									44	0.99	EnII,L,C	
Siluridae																					
<i>Coreoperca herzi</i>					10		5	7	13		8	14				8	13	8	86	1.93	E
Number of species	16	7	2	4	15	5	6	5	11	13	15	15	1	5	9	15	16	22			
Number of individuals	357	326	76	147	547	146	81	112	212	192	392	300	27	204	219	545	473	4356			

*Relative abundance (%); **N: Natural monument, EnII: Endangered species II, E: Korean endemic species, L: Land-locked species, C: Climate-sensitive species

가 14종으로 가장 많았고, 그 다음으로 미꾸리과(Cobitidae) 3종, 종개과(Balitoridae), 메기과(Siluridae) 통가리과(Amblycipitidae), 연어과(Salmonidae), 꺾지과(Centropomidae)는 1종씩 출현하였다. 출현종 중 우점종은 참갈겨니(*Zacco koreanus*, 41.8%), 아우점종은 금강모치(*Rhynchocypris kumgangensis*, 15.1%)였으며, 그 다음으로 돌고기(*Pungtungia herzi*, 10.1%), 가는돌고기(*Pseudopungtungia tenuicorpa*, 5.0%), 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*, 4.1%), 피라미(*Z. platypus*, 3.8%), 배가사리(*Microphysogobio longidorsalis*, 3.5%), 어름치(*Hemibarbus mylodon*, 2.2%), 참종개(*Iksookimia*

koreensis, 1.9%), 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*, 1.6%) 등의 순으로 우세하였다(Figure 2). 법정보호종은 천연기념물 어름치 1종, 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급의 묵납자루(*Acheilognathus signifer*), 가는돌고기, 돌상어(*Gobiobotia brevibarba*), 열목어(*Brachymystax lenok tsinlingensis*) 4종 등 모두 5종이 출현하였다. 한국고유종은 묵납자루, 가는돌고기, 쉬리, 긴물개(*Squalidus gracilis majimae*), 어름치, 돌상어, 배가사리, 금강모치, 참갈겨니, 새코미꾸리(*Koreocobitis rotundicaudata*), 참종개, 미유기(*Silurus microdorsalis*), 통가리(*Liobagrus andersoni*), 꺾지(*Coreoperca herzi*) 14

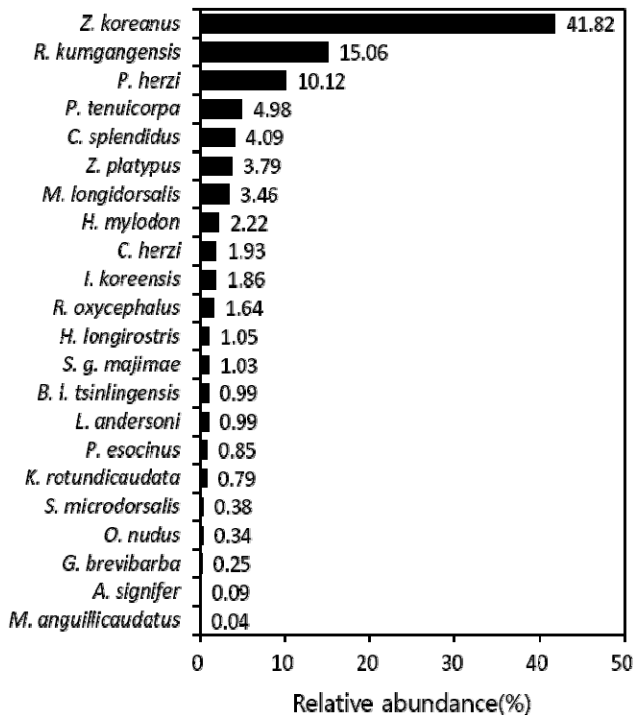


Figure 2. Relative abundance of the fish species found in the Bukcheon(Stream) of Seoraksan National Park, Korea from April to September 2020.

종(고유화율 63.6%)이 확인되었으며, 기후변화민감종(냉수성 어종)은 금강모치와 열목어 2종이, 육붕형 어류는 열목어 1종이 채집되었다.

3. 법정보호종의 서식현황

천연기념물인 어름치(제259호)는 북한상류 St. 1, 5와 영실천 하류 St. 9, 10, 북한 중·하류인 St. 11, 12, 16, 17 8개 지점에서 99개체가 채집되었는데, 특히 하천규모가 크고 소가 있는 북한상류 St. 1과 북한 중·하류에 많이 서식하고 있었다. 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급 중 가는돌고기는 어름치와 동일하게 북한상류 St. 1, 5와 영실천 하류 St. 9, 10, 북한 중·하류인 St. 11, 12, 16, 17 8개 지점에서 222개체가 채집되었으며 특히 하천규모가 큰 북한 중·하류에 많이 서식하고 있었다. 열목어는 북한상류 St. 1~5, 영실천 St. 6, 9, 10 8개 지점에서 44개체가 채집되었으며 특히 바위나 큰돌이 많고 소가 발달한 북한상류에 많이 서식하고 있었다. 돌상어는 북한 중하류인 St. 11, 12, 17 3개 지점에서 11개체가 채집되었으며 빠른여울부의 큰돌과 돌 아래에서 채집되었다. 묵납자루는 북한상류의 St. 1, 16 2개 지점에서 4개체가 채집되었다.

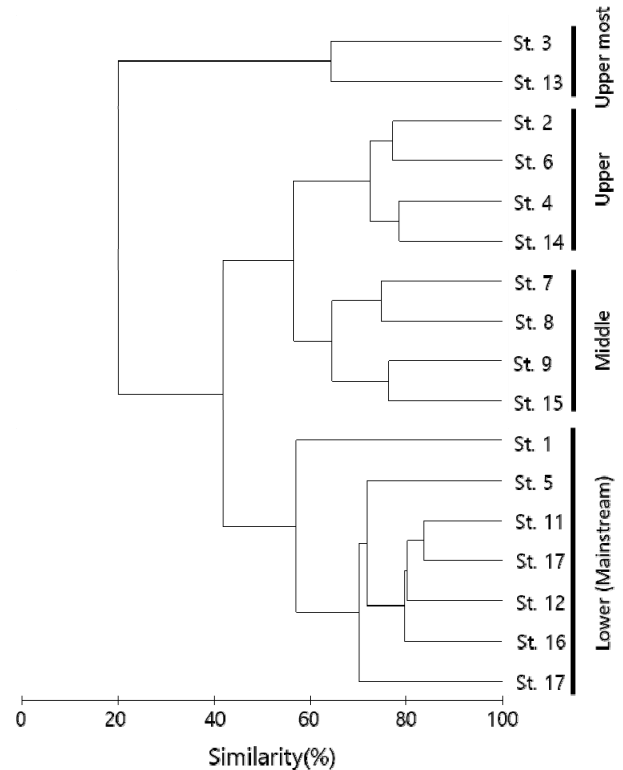


Figure 3. Dendrogram for the cluster analysis based on similarity index of the fish species found among the stations in the Bukcheon(Stream) of Seoraksan National Park, Korea from April to September 2020.

4. 군집구조 및 특징

점별 출현종수는 1~16종(평균 9.4종)으로 St. 1과 St. 17이 16종으로 가장 많았고, 출현개체수는 27~473개체(평균 256개체)로 St. 5가 547개체로 가장 많았다. 우점종은 참갈겨니 12개 지점, 금강모치 5개 지점으로 참갈겨니가 가장 많았다. 지점별 우점도 지수는 0.44~1.00의 범위로 St. 3과 St. 13이 1.00으로 가장 높았고 St. 17이 0.44로 가장 낮았으며, 다양도 지수는 0.80~2.26의 범위로 St. 17이 2.26으로 가장 높았고 St. 4가 0.80으로 가장 낮았다. 균등도 지수는 0.44~0.82 범위로 St. 17가 0.82로 가장 높았고 St. 3이 0.44로 가장 낮았으며, 풍부도 지수는 0.23~2.55의 범위로 St. 1이 2.55로 가장 높았고 St. 3이 0.23으로 가장 낮았다. 전체적으로 볼 때, 상류에서 하류로 갈수록 우점도는 낮아지나 다양도와 균등도, 풍부도는 높아지는 경향을 보였다(Table 3). 군집구조는 Primer 5.0을 이용하여 유사도를 계산한 후 그림으로 도식한 결과, 최상류(St. 3, 13)와 상류(St. 2, 6, 4, 14), 중류(St. 7, 8, 9, 15), 본류(하류, St. 1, 5, 11, 17, 12, 16, 17)로 나누어졌다(Figure 3).

Table 3. Community indices and index of biological integrity (IBI) in the Bukcheon(Stream) of Seoraksan National Park, Korea from April to September 2020

Index	Stations																	Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Dominance	0.60	0.90	1.00	0.95	0.74	0.89	0.74	0.71	0.67	0.65	0.52	0.56	1.00	0.92	0.87	0.53	0.44	0.44
Diversity	1.93	1.05	0.31	0.80	1.41	1.01	1.25	1.27	1.64	1.74	2.05	2.03	-	0.86	1.03	1.96	2.26	2.26
Evenness	0.70	0.54	0.44	0.57	0.52	0.63	0.70	0.79	0.68	0.68	0.76	0.75	-	0.54	0.47	0.72	0.82	0.82
Richness	2.55	1.04	0.23	0.60	2.22	0.80	1.14	0.85	1.87	2.28	2.34	2.45	-	0.75	1.48	2.22	2.44	2.44

Table 4. Index of biological integrity (IBI) in the Bukcheon(Stream) of Seoraksan National Park, Korea from April to September 2020

Index*	Stations																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
M1	12.5	10.4	0.0	0.0	12.5	0.0	2.1	0.0	6.3	6.3	8.3	6.3	0.0	6.3	6.3	6.3	8.3
M2	12.5	6.3	0.0	4.2	12.5	0.0	2.1	0.0	10.4	12.5	12.5	12.5	0.0	10.4	8.3	12.5	12.5
M3	12.5	10.4	6.3	6.3	12.5	6.3	8.3	6.3	12.5	12.5	12.5	12.5	6.3	12.5	10.4	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	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	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	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
M7	12.5	12.5	2.1	4.2	12.5	0.0	0.0	0.0	6.3	4.2	6.3	4.2	0.0	12.5	6.3	10.4	8.3
M8	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
FAI (grade)	100.0 A	89.6 A	58.4 C	64.6 B	100.0 A	56.3 C	62.5 B	56.3 C	85.4 A	85.4 A	89.6 A	85.4 A	56.3 C	91.7 A	81.3 A	91.7 A	91.7 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

5. 하천 건강성 평가

하천 건강성은 하천 차수에 따라 어류생물지수(FAI)를 평가한 결과, 17개 지점 중 매우 좋음 11개 지점, 좋음 2개 지점, 보통 4개 지점으로 나타났다. 공통적으로 내성종의 개체수 비율(M4), 잡식종의 개체수 비율(M5), 충식종의 개체수 비율(M6), 비정상종의 개체수 비율(M8)은 매우 높게 나타났다. 그러나 국내종의 총 종수(M1), 여울성 저서종의 수(M2), 민감종수(M3), 채집된 국내 종의 총 개체수(M7)는 지점간 큰 차이를 보였는데, 특히 최상류 및 상류 지점인 St. 3, 6, 8, 13은 이들 메트릭 값이 낮게 나타나 조사지점 중 가장 낮은 보통으로 평가되었다(Table 4).

고찰

북천의 선행연구는 설악산국립공원 자연자원조사로 1기

부터 3기까지 진행되었는데(MHA, 1992; KNPS, 2000; 2010), 1기는 집적조사가 아닌 문헌조사이며 조사지점별 출현개체수가 제시되어 있지 않아(MHA, 1992) 본 연구에서는 비교하지 않았다. 2기 조사에 북천은 7개 지점을 6회 조사하여 6과 18종 889개체가 채집되었고(KNPS, 2000), 3기 조사에서는 19개 지점을 6회 조사하여 8과 22종 1,539개체가 보고되었다(KNPS, 2010). 본 조사 결과(4기) 17개 지점을 3회 조사하여 채집된 7과 22종 4,356개체와 비교하면, 지점수와 조사횟수에 차이가 있어 정확한 비교는 할 수 없으나 종수는 비교적 차이가 적었고 개체수는 조사별로 큰 차이를 보였는데, 종수는 3기와 4기가 2기보다 많았고 개체수는 4기, 3기, 2기 순으로 많았다. 선행조사에서 출현하였으나 본 조사에서 출현하지 않은 어종은 돌마자(*M. yaluensis*)와 눈동자개(*Pseudobagrus koreanus*) 2종이었는데, 돌마자는 3기 조사에서 2지점 11개체가, 눈동자개는 3기 조사에서 1지점에서 1개체가 채집되었으며, 이들 종들은 개체수가 감소하였거나 희소하게 서식하기 때문에 본 조사

Table 5. Historical record of ichthyofauna in the Bukcheon(Stream) of Seoraksan National Park, Korea from 2000 to 2020

Scientific name	Natural resource survey of National Park						Remarks**
	2 nd (KNPS, 2000)		3 rd (KNPS, 2010)		4 th (Present study)		
	N	RA*(%)	N	RA(%)	N	RA(%)	
Number of surveys	6		6		3		
Number of survey stations	7		19		17		
Cyprinidae							
<i>Acheilognathus signifer</i>					4	0.09	EnII,E
<i>Pungtungia herzi</i>	77	7.77	46	2.99	451	10.12	
<i>Pseudopungtungia tenuicorpa</i>	4	0.40	44	2.86	222	4.98	EnII,E
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	20	2.02	163	10.59	182	4.09	E
<i>Squalidus gracilis majimae</i>					46	1.03	E
<i>Hemibarbus longirostris</i>	15	1.69	7	0.45	47	1.05	
<i>Hemibarbus mylodon</i>	18	2.02	58	3.77	99	2.22	N,E
<i>Pseudogobio esocinus</i>	14	1.57	17	1.10	38	0.85	
<i>Gobiobotia breviparba</i>	2	0.22	12	0.78	11	0.25	EnII,E
<i>Microphysogobio longidorsalis</i>	5	0.56	122	7.93	154	3.46	E
<i>Microphysogobio yaluensis</i>			11	0.71			
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	1	0.11	6	0.39	73	1.64	
<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	25	2.81	132	8.58	671	15.06	E, C
<i>Zacco koreanus</i>	623	70.08	655	42.56	1863	41.82	E
<i>Zacco platypus</i>	43	4.84	96	6.24	169	3.79	
Balitoridae							
<i>Orthrias nudus</i>	4	0.45	74	4.81	15	0.34	
Cobitidae							
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>					2	0.04	
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>	2	0.22	39	2.53	35	0.79	E
<i>Iksookimia koreensis</i>	1	0.11	13	0.84	83	1.86	E
Siluridae							
<i>Silurus microdorsalis</i>			4	0.26	17	0.38	E
Bagridae							
<i>Pseudobagrus koreanus</i>			1	0.06			
Amblycipitidae							
<i>Liobagrus andersoni</i>	4	0.45	10	0.65	44	0.99	E
Salmonidae							
<i>Brachymystax lenok tsinlingensis</i>	2	0.22	7	0.45	44	0.99	EnII,L,C
Siluridae							
<i>Coreoperca herzi</i>	29	3.26	22	1.43	86	1.93	E
Number of family	6		8		7		
Nnumber of species	18		22		22		
Nnumber of individuals	889		1539		4356		

*RA: Relative abundance (%), **N: Natural monument, EnII: Endangered species II, E: Korean endemic species, L: Land-locked species, C: Climate-sensitive species

에서는 출현하지 않은 것으로 판단된다. 선행조사에서 출현하지 않았으나 본 조사에서 출현한 어종은 묵납자루, 긴몰

개, 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*) 3종이었는데, 3종 모두 서식지가 제한적이고 개체수가 많지 않아 선행조사에

서 채집되지 않은 것으로 판단된다(Table 5).

복천에 출현한 법정보호종은 선행연구인 설악산국립공원 자연자원조사 2기, 3기에서 공통적으로 천연기념물 어름치(제259호)와 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급의 가는돌고기, 돌상어, 열목어 등 4종이었으며(KNPS, 2000; 2010), 본 조사에서는 천연기념물 어름치와 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급의 묵납자루, 가는돌고기, 돌상어, 열목어 등 5종이 확인되어 묵납자루 1종이 추가로 확인되었다. 어름치는 한강수계와 임진강 수계에 서식하는 한국고유종으로 여울에 산란탐을 쌓는 독특한 습성을 가지는 것으로 알려졌으며(Choi and Baek, 1970) 임진강의 한탄강, 한강의 중·상류부, 금강 등에 서식하며 최근 낙동강 상류에는 인위적으로 도입되어 서식이 확산되고 있는 것으로 보고되고 있다(ME, 2006; CHA, 2009; NIBR, 2019). 하지만 근래들어 금강집단은 절멸된 것으로 보고되어 복원사업의 일환으로 인공생산된 치어가 금강에 지속적으로 방류되고 있다(CHA, 2009; 2012). 복천에서 어름치는 과거부터 지속적으로 비교적 많은 개체가 서식하고 있고(KNPS, 2000; 2010) 상대풍부도는 2.0~3.7%로 나타나 개체군 크기가 큰 변화 없이 유지되고 있었다.

가는돌고기는 2005년부터 환경부 멸종위기종으로 지정되었고, 한강수계인 임진강과 한강의 중·상류에 서식하는 한국고유종으로 독특한 산란방법인 탁란 또는 틈새산란을 하는 것으로 보고되었다(Kim and Park, 2007; Lee, 2011). 북한강에서는 복천을 포함한 인북천과 내린천, 수입천, 흥천강, 가평천 등에 많이 서식하는 것이 보고되었고(NIBR, 2019), 복천에서는 설악산국립공원 자연자원조사 2기에서는 3개 지점 4개체(0.4%)(KNPS, 2000), 3기에 5개 지점 44개체(2.9%)가 복천 본류 및 영실천에서 채집되었다(KNPS, 2010). 본 조사에서도 복천 본류 및 영실천 8개 지점에서 222개체(5.0%)가 채집되었는데, 특히 복천 중·하류부(St. 11, 12, 16, 17)에 많은 개체가 서식하고 있어 주목되었다. 복천 중·하류부는 비교적 서식지가 잘 보존되고 서식에 유리한 큰돌과 돌의 비중이 높으며 산란숙주인 껍지도 많이 서식하고 있었기 때문에 많은 개체가 서식할 수 있었던 것으로 판단된다.

열목어는 2012년 환경부 멸종위기종으로 지정되었고, 냉수성 어류로 수온이 낮은 한강 상류부와 낙동강 상류부인 봉화군에 서식하는 자생종이다(Kim and Park, 2007; NIBR, 2019). 북한강에서는 복천을 포함하여 인북천, 내린천, 수입천 등에 많은 개체가 서식하고 있는 것으로 보고되었고(NIBR, 2019; Ko et al., 2021), 복천에서는 설악산국립공원 자연자원조사 2기에서는 1개 지점 2개체(0.2%)(KNPS, 2000), 3기에서는 2개 지점 7개체(0.5%)(KNPS, 2010), Ko et al.(2021)은 복천 상류에 7개 지점, 영실천 3개 지점에

서 서식하는 것을 보고하였다. 본 조사에서는 복천 상류(St. 1~5) 34개체, 영실천(St. 6, 8, 9) 10개체 등 44개체(1.0%)가 채집되어 비교적 Ko et al.(2021)의 결과와 유사한 분포 범위를 보였다.

돌상어는 2005년부터 환경부 멸종위기종으로 지정되었고, 한강수계와 금강수계 중·상류의 큰돌과 돌, 자갈로 이루어진 빠른 여울에 서식하는 한국고유종이다(Kim and Park, 2007; Ko et al., 2011). 북한강에서는 복천을 포함하여 인북천, 내린천, 흥천강, 수입천, 지촌천, 흥천강, 가평천 등에 서식하는 것으로 보고되었고(NIBR, 2019), 복천에서는 설악산국립공원 자연자원조사 2기에서 1지점(영실천) 2개체(0.2%)(KNPS, 2000), 3기에서 5지점(영실천 1지점, 본류 3지점, 한계천 1지점) 12개체(0.3%)가 채집되었다(KNPS, 2010). 본 조사에서는 복천 중·하류 3지점에서 11개체(0.3%)가 채집되어 상대풍부도는 비교적 선행조사와 유사하였지만, 출현지역에서는 3기와 같이 본류에서 가장 많이 채집되어 유사하였지만 2기와 3기에서 출현한 영실천과 한계천에서는 서식이 확인되지 않아 차이를 보였다.

묵납자루는 1996년부터 환경부 멸종위기종으로 지정되었고, 한강수계인 임진강과 한강에 서식하는 한국고유종으로 담수조개인 작은말조개(*Unio douglasiae sinuolatus*)와 꺾개목두리조개(*Lamprotula leai*)에 산란하며(Baek, 2005; Kim, 2014), 복천 인근에서는 소양강의 인북천과 내린천에 서식하는 것이 확인되었다(NIBR, 2019). 복천에서는 설악산국립공원 자연자원조사 2기, 3기에서 출현하지 않았으나, 백두대간보호지역 생태계조사 2기의 복천 상류(St. 1)에서 서식이 확인되었고(ME and NIE, 2019), 본 조사에서는 복천 상류(St. 1) 및 하류(St. 16) 두 지점에서 4개체(0.1%)가 채집되었는데, 특히 St. 1은 상류임에도 소가 형성되어 있고 수변부에 수초가 비교적 많았으며 하상도 자갈과 잔자갈, 모래가 분포하여 작은말조개가 서식하고 있어 주목되었다. 그러나 복천의 대부분의 지점들은 수변부에 수초가 거의 없고 하상은 큰돌과 돌이 대부분을 차지하는 계류형태를 하고 있어 묵납자루의 산란 숙주조개인 작은말조개 등이 거의 서식하지 못하였기 때문에 묵납자루도 거의 서식하지 않은 것으로 판단된다.

복천에 서식하는 기후변화민감종(냉수성 어류)은 열목어와 금강모치 2종이 서식하고 있었다. 복천 상류(St. 1~5)와 영실천(St. 6~9)에서는 두 종 모두 동일하게 서식하고 있었으나 한계천 상류(St. 13~15)에서는 금강모치만 서식하고 있어 차이를 보였다. 한계천 상류에서 열목어가 서식하지 않은 원인은 열목어가 중대형 어종으로 수온이 낮은 뿐만 아니라 수심이 깊은 소가 형성되어 있어야 서식이 가능한데(Ko et al., 2021), 한계천 상류부는 이러한 수심이 깊은 소가 많지 않기 때문에 서식하지 못하는 것으로 추정된다. 반

면 금강모치는 소형어류이기 때문에 수심이 깊은 소가 형성되어 있지 않더라도 수온이 낮으면 서식이 가능한 것으로 판단된다.

북천은 대부분 설악산국립공원으로 지정되어 보호받고 있어 비교적 생태계가 잘 보존되고 있었으며, 북천관측소의 수질도 대부분 항목이 매우 좋음으로 나타났다. 어류를 이용한 하천건강성 평가에서도 상류부를 제외한 대부분이 매우 좋음(A등급)으로 나타났다. 북천(St. 3~4)과 영실천(St. 6~8), 한계천(St. 13) 상류부는 좋음(B)이나 보통(C)로 평가되었는데, 하천 발원이 고도가 높은 산에서 시작하기 때문에 하천차수가 2~4차로 높지만 경사각이 크고 수온이 낮으며 서식지가 단순하여 서식 종수와 개체수가 적기 때문에 하천건강성이 낮게 평가된 원인으로 판단된다. 교란요인으로 조사 지점 중 St. 4, 11과 St. 5, 17 인근은 하천공사가 진행되면서 어류 서식지가 교란되고 있었다. 그리고 St. 13~14은 봄에 전기전도도와 염도가 약간 높게 나타나 우려되었는데, 이는 봄에 강수량 감소로 유수량이 급격히 감소한 상황에서 이 지점 인근에 위치한 주택 및 펜션에서 발생한 생활하수 일부가 하천에 유입되었기 때문으로 추정된다.

설악산국립공원 북천은 전체적으로 볼 때, 범정보호종 5종을 포함하여 총 7과 22종의 많은 어류가 서식하고 하천건강성과 수질도 비교적 양호한 것으로 평가되어 주목되었다. 다만 일부지점에서 진행되고 있는 하천공사와 일부 인근 주택 및 펜션에서 유입되는 생활 하수는 수환경 교란요인으로 나타났기 때문에 무분별한 하천공사는 지양하고 생활하수가 유입되지 않도록 대책 마련이 필요하다고 판단된다.

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)
- CHA(Cultural Heritage Administration)(2009) Habitat status basic research of Natural Monument fish. Institute of Biodiversity, 117pp. (in Korean)
- CHA(Cultural Heritage Administration)(2012) Culture and restoration research of Natural Monument, *Hemibarbus mylodon*. Soonchunhyang University, Asan, 48pp. (in Korean)
- Choi, K.C. and Y.K. Baek(1970) On the life-history *Gonoproktopterus mylodon*(Berg). Korean Journal of Limnology 3: 21-33. (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.
- 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 of 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 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)
- KNPS(Korea National Park Service)(2000). Natural resource survey of Seoraksan National Park. Korea National Park Service, Seoul, 487pp. (in Korean)
- KNPS(Korea National Park Service)(2010). Natural resource survey of Seoraksan National Park. Korea National Park Service, Seoul, 679pp. (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=Gb=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., 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. brevibarba* in the Seom River, Korea. Korean Journal of Limnology 44: 144-154. (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. (in Korean with English abstract)
- 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, Korea, 131pp.

- 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) Relationship among functional properties of California Grassland. *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 and National Institute of Ecology, Seocheon, 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, Seocheon, 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, Seocheon, 552pp. (in Korean)
- ME(Ministry of Environment)(2006) Studies on the genetic diversity, artificial propagation and ex situ restoration of a threatened national monument fish *Hemibarbus mylodon*. Soonchunhyang University, Asan, 520pp. (in Korean with English abstract)
- MHA(Ministry of Home Affairs)(1992) Natural resource survey of Seoraksan National Park. Ministry of Home Affairs, 222pp. (in Korean)
- Moyle, P.B. and J.J. Cech(2000) *Fishes: An introduction to ichthyology*(4th ed.). Davis: Prentice Hall Inc. Upper Saddle River, 612pp.
- 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. Ministry of Environment, National Institute of Biological Resources, Incheon, 202pp. (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)(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, Korea, 97pp. (in Korean)
- Pielou, E.C.(1966) 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.
- WEIS(Water Environment Information System)(2020) River living environment standard. Retrieved from http://water.nier.go.kr/web/waterMeasure?pMENU_NO=2. (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.