

## 열목어 서식지의 어류군집을 이용한 생태적 건강성 평가

고민섭, 최준길, 이황구\*

상지대학교 생명과학과

## Ecological health assessments using fish communities in the habitat of Manchurian trout

Min Seop Ko, Jun Kil Choi and Hwang Goo Lee\*

Department of Biological Science, College of Science & Engineering, Sangji University, Wonju 26339, Republic of Korea

### \*Corresponding author

Hwang Goo Lee

Tel. 033-730-0434

E-mail. morningdew@sangji.ac.kr

Received: 11 November 2019

Revised: 1 December 2019

Revision accepted: 2 December 2019

**Abstract:** The purpose of this study was to conduct ecological health assessments by using the fish communities in the Manchurian trout habitat. Sampling was conducted twice in July and September 2018. In the survey, 1,119 individuals belonging to 16 species and seven families were collected. The dominant species by number was *Rhynchocypris kumgangensis* and the subdominant species was *Zacco koreanus*. Korean endemic species represented 73.33% at Geybang Stream and 76.92% at Naerin Stream. Community analysis revealed that the structure of the fish community was unstable by the dominance index  $0.63 (\pm 0.09)$ – $0.97 (\pm 0.01)$ , the diversity index  $1.63 (\pm 0.23)$ – $0.33 (\pm 0.09)$ , the evenness index  $0.79 (\pm 0.06)$ – $0.24 (\pm 0.07)$  and the richness index  $0.67 (\pm 0.14)$ – $1.80 (\pm 0.16)$ . According to the analysis of the tolerance guilds, the total individual number of sensitive species was higher than the intermediate and tolerant species. The insectivore species accounted for 65.09–98.56% of the total trophic guilds, which was the highest observed. The value of the QHEI (Qualitative habitat evaluation index) in the *Brachymystax lenok tsinlingensis* habitat was  $119.5 (\pm 0.5)$ – $153.5 (\pm 0.5)$ , indicating an optimal-suboptimal condition. The FAI (Fish assessment index) stream health value was A to B in the study sites. Correlation analysis with FAI and various factors was conducted and a high correlation in QHEI, *Brachymystax lenok tsinlingensis* individuals, species, individuals, diversity, richness, sensitive species, carnivorous species, insectivorous species, and omnivorous species was found. The similarity analysis was divided into three groups from A to C, based on 56.9%.

**Keywords:** fish community, QHEI, FAI, *Brachymystax lenok tsinlingensis*, pearson correlation

## 서 론

어류는 지각변동 및 인위적 도입과 같은 우연적인 사건이 없는 한 제한된 수역에서 항상 서식하며, 서로 다른 환경

조건에 적응하게 되어 지역마다 종 특이성이 다르게 나타난다(Kim 1997). 또한 지리적 위치, 고도, 하천형태, 수질 등의 환경요인에 따라 쉽게 변화하며, 수질 오염 및 하천생태계의 교란에 대한 생태지표 특성(내성도 및 섭식 길

드)이 다르기 때문에 수환경의 지표생물로 널리 이용되고 있다(Jones *et al.* 2005; Kim *et al.* 2005; Kim and Park 2007; Lee *et al.* 2009). 이에 수중생태계의 지표생물을 이용한 생태계 건강도 평가를 위해 현재 여러 국가에서 어류를 이용한 건강도 평가를 실시하고 있으며, 국내에서도 어류를 이용한 하천건강성평가 방법인 어류평가지수(FAI; Fish assessment index)를 사용하여 다양한 연구가 수행되고 있다(Park *et al.* 2017; Lee *et al.* 2017; Na *et al.* 2019).

열목어는 대표적인 산간 계류의 냉수성어종으로 연간 수온이 20°C 이하의 용존산소 10 ppm 이상을 유지하고, 수량이 풍부하며, 2 m 이상이 되는 소(pool)가 분포하는 하천에 서식하는 것으로 알려져 있다(Choi *et al.* 2002). 따라서 열목어의 지리적 분포는 제한적이며, 국내에 분포하는 열목어 개체군은 최남단 개체군으로서 학술적으로 중요한 의미를 지니고 있다(Yoon and Jang 2009; Jang *et al.* 2017). 그러나 최근 들어 수질오염, 하천 정비, 고랭지 농업으로 강우 시 탁수 발생, 남획 등으로 개체수와 서식지가 급격히 감소하였다(Byeon 2011). 따라서 열목어는 환경부에서 2012년부터 멸종위기야생생물 II 급으로 지정하였으며, 정선군 정암사 열목어 서식지(천연기념물 제73호), 봉화 대현리 열목어 서식지(천연기념물 제74호)를 천연기념물로 지정하여 열목어 개체군과 서식지를 함께 보호하고 있다. 홍천 명개리 열목어 서식지는 1994년 강원도 시도기념물 제67호로 지정되어 열목어 개체군과 서식지를 함께 보호하고 있다. 조사지역인 계방천과 내린천은 북한강 최상류 수계로 계방산(1,577 m)과 방태산(1,444 m) 등의 자연성이 높은 산림과 해발 고도가 1,100~1,577 m에 이르는 높은 산들로 둘러싸여 경관이 수려한 청정지역으로 하천생태계가 잘 보존된 하천이다(Nam *et al.* 1998). 계방천은 하천연장 15.1 km로 소계방산(1,490 m)에서 발원하여 내린천에 유입되며, 내린천은 하천연장 60 km로 오대산(1,563 m)에서 발원하여 소양호의 상류에 유입된다. 그러나 최근 교통이 발달과 함께 하계에는 물놀이객이 많이 모여들고 있으며(Nam *et al.* 1998), 고랭지 채소밭의 영향으로 강우 시 토사유입으로 인한 하천생태계의 파괴가 우려되고 있는 실정이다. 이러한 인위적인 간섭에 의한 환경변화는 어류상의 변화를 유발하는 가장 큰 요인이라고 할 수 있으며, 실제로 하천 주변의 개발 및 토지이용이 하천 건강성과 어류 종 군집에 영향이 있는 것으로 보고되었다(Rutherford *et al.* 1987; Kim *et al.* 2012).

본 연구 지역인 계방천과 내린천은 내린천 수계를 중심으로 하는 어류상(Nam *et al.* 1998), 오대산국립공원 일대의 어류상(Choi and Choi 2005), 오대산국립공원 일대에 서식하는 열목어의 식성(Yoon *et al.* 2013)에 대한 연구가 이루어진 바 있다. 그러나 선행 연구의 경우 홍천 명개리 열목어 서식지를 일부 조사지점으로 포함하여 광범위한 지역에서 연구를 수행하였기 때문에 본 연구 조사지역에 대한 면밀한 조사는 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구는 홍천 명개리 열목어 서식지 일대의 어류상과 군집을 파악하고, 물리적 서식지 평가기법(QHEI; Qualitative habitat evaluation index)과 어류평가지수(FAI; Fish assessment index) 분석을 통해 계방천과 내린천의 생태적 건강성을 파악하여 조사지역의 어류 종다양성 확보 및 서식지 보전 관리 마련을 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사시기

홍천 명개리 열목어 서식지의 조사시기는 어류의 활동이 왕성한 2018년 7월부터 9월까지 총 2회의 조사를 실시하였으며, 각 조사시기는 다음과 같다.

1차조사 : 2018년 7월 25~26일

2차조사 : 2018년 9월 15~16일

### 2. 조사지점

조사지점은 홍천군 내면 명개리 일원 계방천(GB: Geybang Stream) 4개 지점, 홍천군 내면 광원리 일원 내린천(NR: Naerin Stream) 일대의 5개 지점 등 총 11개 지점을 선정하여 조사를 실시하였다. 각 조사지점 및 GPS (WGS)는 다음과 같다(Fig. 1).

GB Site 1: 강원도 홍천군 내면 명개리 청도교

(N 37°50'22.61", E 128°31'24.96")

GB Site 2: 강원도 홍천군 내면 명개리 내청도교

(N 37°51'0.66", E 128°30'44.65")

GB Site 3: 강원도 홍천군 내면 명개리 명개1교

(N 37°50'44.15", E 128°29'20.26")

GB Site 4: 강원도 홍천군 내면 광원리

(N 37°50'15.22", E 128°28'38.24")

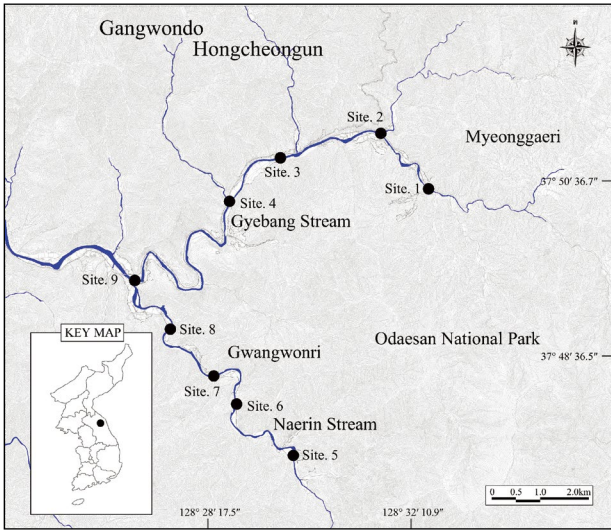


Fig. 1. Map of the study sites in Gyebang Stream and Naerin Stream in South Korea.

NR Site 5: 강원도 홍천군 내면 광원리

(N 37°47'25.95", E 128°29'29.31")

NR Site 6: 강원도 홍천군 내면 광원리 을수3교

(N 37°47'57.95", E 128°28'40.12")

NR Site 7: 강원도 홍천군 내면 광원리

(N 37°48'20.16", E 128°28'23.20")

NR Site 8: 강원도 홍천군 내면 광원리 을수교

(N 37°48'51.10", E 128°27'46.04")

NR Site 9: 강원도 홍천군 내면 광원리 철소폭포

(N 37°49'23.80", E 128°27'16.05")

### 3. 연구내용 및 방법

#### 1) 물리·화학적 서식처 특성 분석

조사지역의 물리·화학적 조사는 조사시기별 현장조사를 통해 분석을 실시하였다. 레이저 거리측정계(Nikon LASER 1200S, Japan)를 이용하여 조사지역의 유폍을 측정하였으며, 수심은 막대 자를 이용하였다. 유속은 막대 자를 이용하여 Craig (1987)의 방법으로 측정하였다. 하상구조물의 계측 및 분류는 Cummins (1962)의 방법을 적용하였으며, Boulder, Cobble, Pebble, Gravel, Sand의 5단계로 구분하여 상대적인 구성 비율을 측정하였다. 또한 다항목수질 측정기(YSI Professional Plus, USA)를 이용하여 수온, 용존 산소(DO), 전기전도도(EC), pH를 측정하였다.

$$\text{Velocity (m s}^{-1}\text{)} = \sqrt{2g(D_2 - D_1)}$$

$g$ : 중력

$D_1$ : 하천의 흐름과 막대 자가 수직일 때 최고 수위

$D_2$ : 하천의 흐름과 막대 자가 평행할 때 최고 수위

#### 2) 채집 및 분류

조사지역 어류의 채집은 정량조사를 위해 투망(7 mm × 7 mm, 12회), 족대(4 mm × 4 mm, 40분)를 이용하였으며, 채집된 어류는 현장에서 동정 후 방류하였다. 어류의 동정은 국내에 발표된 검색표(Kim 1997; Kim and Park 2002; Kim *et al.* 2005)를 인용하였으며, Nelson (2006)의 분류체계를 따랐다.

#### 3) 군집분석

군집분석은 조사지점에서 정량적으로 채집된 종과 개체수를 비교·분석하여 우점종(Dominant species), 아우점종(Subdominant species), McNaughton (1967)의 우점도지수( $DI = (ni/N) \times 100$ ; N: 총 개체수, ni: 제 i번째 종의 개체수), Shannon-Weaver (1949)의 다양도지수( $H' = -\sum Pi (\ln/Pi)$ ; Pi: i번째 개체수 비율(ni/N)), Pielou (1975)의 균등도지수( $E' = H'/\ln(S)$ ), Margalef (1958)의 풍부도지수( $RI = (S - 1)/\ln(N)$ )를 산출하였다.

#### 4) 내성도 및 섭식도 길드 분석

내성도 길드 분석은 Barbour *et al.* (1999)가 제시한 수질 오염에 민감하게 반응하는 민감종(SS: Sensitive species), 수질오염에 적응·탄력성이 높은 내성종(TS: Tolerant species), 이외에 두 범주 사이의 중간종(IS: Intermediate species)으로 구분하여 분석하였다. 섭식도 길드 분석은 Ohio EPA (1987)에 따라 1차적으로 이용하는 먹이자원에 근거하여 육식종(C: Carnivore), 초식종(H: Herbivore), 충식종(I: Insectore), 잡식종(O: Omnivore)으로 분류하여 분석하였다.

#### 5) 어류평가지수(FAI; Fish assessment index)

홍천군 명개리 열목어 서식지의 수생태계 건강성을 평가하기 위해 어류평가지수(ME 2007)를 활용하여 평가등급을 산정하였다. 어류평가지수는 8개의 메트릭 시스템(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)을 이용하여 평가등급을 산정하였으며, 등급은 매우 좋음( $80 \leq \sim \leq 100$ , A), 좋음( $60 \leq \sim < 80$ , B), 보통( $40 \leq \sim < 60$ , C), 나쁨( $20 \leq \sim < 40$ , D), 매우 나쁨( $0 \leq \sim < 20$ , E)의 5등급으로 구분하여 산출하였다.

### 6) 물리적 서식처 평가지수(QHEI; Qualitative habitat evaluation index)

홍천군 명개리 열목어 서식지의 다양한 물리적 서식지 환경과 어류군집과의 관련성을 파악하기 위하여 Plafkin *et al.* (1989)이 제시한 생물 서식지 평가 기법의 10개 항목(M1, Substrate/instream cover; M2, Embeddedness; M3, Flow velocity/depth combination; M4, Bottom scouring & sediment deposition; M5, Channel flow status; M6, Channel alteration; M7, Frequency of riffles or bends; M8, Bank stability; M9, Bank vegetative protection; M10, Riparian vegetative zone width)을 선택하여 활용하였다. 각 변수는 최적(Optimal: 200~149), 양호(Suboptimal: 148~91), 보통(Marginal: 90~33), 악화(Poor: <32)의 4가지 상태로 구분하여 서식지 건강도를 평가하였다.

### 7) 통계분석

통계분석은 각 조사구간별 유사성을 분류하고자 Biodiversity pro (v. 2)를 이용하여 유사도(Bray and Curtis 1957) 분석을 실시하였으며, 각 지점별 FAI와 다양한 요인들 간의 상관성을 파악하기 위해 SPSS (v. 21.0)를 이용하여 상관관계 분석(Pearson Correlation)을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 물리·화학적 서식처 특성 분석

계방천과 내린천의 물리·화학적 특성 분석 결과는 Table 1와 같다. 1차 조사와 2차 조사결과 수온은  $16.9(\pm 4.7) \sim 19.7(\pm 6.2)^\circ\text{C}$ 의 용존산소(DO)는  $5.8(\pm 1.5) \sim 8.2(\pm 1.7) \text{ mg L}^{-1}$ , 전기전도도(EC)에서는  $42.0(\pm 14.1) \sim 73.5(\pm 20.5) \mu\text{m cm}^{-1}$ , pH는  $6.3(\pm 1.2) \sim 7.8(\pm 0.4)$ 의 범위로 분석되었다. St. 1과 St. 5는 계방천과 내린천의 상류 지점으로 수온이 가장 낮은 것으로 확인되었으며, 전체적으로 조사지점별 수온의 차이는 크지 않았으나 상류지역이 상대적으로 수온이 높아 낮은 수온범위를 유지하였다. 용존산소는  $3 \text{ mg L}^{-1}$  이하일 때 어류의 성장에 제한을 주는 것으로 알려져 있으나(Kim *et al.* 2012), 높은 용존산소 농도를 보인 두 하천 모두 높은 용존산소량을 필요로 하는 민감종이 서식하기에 좋은 조건을 유지하고 있었다. 전기전도도는 계방천과 내린천 모두 하류로 갈수록 농경지 및 경작지의 비율이 증가하고, 민가와 캠핑장 등의 시설이 위치하고 있으며, 여름철 피서 및 야영객들의 물놀이가 활발하여 서식처 교란에 의한 영향이 상대적으로 높은 것으로 확인되었다. 수소이온농도(pH)는 어류가 서식하기에 적절한 값이  $6.5 \sim 8.5$  이내로 알려져 있으며(Park *et al.* 1995), 두 하천 모두 어류가 서식하기에 적당한 것으로 측정되었다.

물리적 수환경 조사는 2차 조사시기인 9월에 측정하였다. 내린천으로 유하하는 계방천의 최대 유폭은  $15 \sim 25 \text{ m}$ 로 확인되었다. 최대 수심은  $60 \sim 100 \text{ cm}$  이상으로 평여울과 소(Pool)가 고루 분포하는 특성을 나타내었고, 하류

**Table 1.** The environmental factors of each surveyed site in Gyebang Stream and Naerin Stream in South Korea

Site	WT (°C)	DO (mg L <sup>-1</sup> )	EC (μm cm <sup>-1</sup> )	pH	Stream width (m)	Water depth (cm)	Velocity (m s <sup>-1</sup> )	Bottom structure B:C:P:G:S	
GB	St. 1	17.0±3.9	6.3±4.0	42.0±14.1	7.0±0.5	5-20	35-60	0.7-1.1	B:C:P:G:S=1:2:4:1:1
	St. 2	17.9±4.5	7.3±3.3	46.0±15.6	7.3±0.8	5-25	30-70	0.3-1.4	B:C:P:G:S=3:4:1:1:1
	St. 3	19.6±5.7	7.8±1.8	60.5±16.3	7.8±0.4	8-15	30-70	0.2-1.7	B:C:P:G:S=4:3:2:1:0
	St. 4	19.1±4.1	7.2±1.9	73.5±20.5	7.8±0.3	9-20	30-100	0.2-0.8	B:C:P:G:S=0:3:4:2:1
NR	St. 5	16.9±4.7	5.8±1.5	47.0±17.0	6.3±1.2	9-20	30-80	0.5-1.2	B:C:P:G:S=4:3:2:1:0
	St. 6	18.3±5.5	8.0±1.0	50.0±17.0	7.3±0.3	7-15	10-80	0.0-1.5	B:C:P:G:S=2:3:3:2:0
	St. 7	19.0±6.1	8.2±1.7	53.0±19.8	7.3±0.1	7-15	20-55	0.0-1.2	B:C:P:G:S=5:4:1:0:0
	St. 8	19.7±6.2	8.1±1.9	55.0±18.4	7.3±0.1	10-25	20-40	0.8-1.6	B:C:P:G:S=4:3:2:1:0
	St. 9	18.3±3.5	7.5±2.4	57.5±20.5	7.7±0.5	15-25	30-60	0.0-0.5	B:C:P:G:S=1:3:3:1:1

GB: Gyebang stream, NR: Naerin stream, WT: Water temp., DO: Dissolved oxygen, EC: Electric conductivity, B: Boulder >256 mm, C: Cobble 64-256 mm, P: Pebble 16-64 mm, G: Gravel 2-16 mm, S: Sand <2 mm.



로 갈수록 수심은 깊은 것으로 확인되었다. 최대 유속은  $0.8 \sim 1.7 \text{ m s}^{-1}$ 로 나타났다. 계방천은 산간계류형의 특징을 잘 나타내는 하천으로서 하도와 하상의 자연성은 전체적으로 양호한 상태였다. 내린천의 최대 유폭은  $15 \sim 25 \text{ m}$ 이며, 하류로 갈수록 넓어지는 경향을 보였다. 최대 수심은  $40 \sim 80 \text{ cm}$ 로 소가 산재하고 급여울이 광범위하게 분포하는 특성을 나타내었다. 하상구조는 계방천과 내린천 모두 대부분 Boulder와 Cobble로 구성되어 있으며, 일부 지점은 제방이 콘크리트로 조성되어 있었다. 또한 내린천의 일부 구간에서 하천 정비로 인해 하도의 직선화가 이루어져 하도와 하상의 자연성이 계방천에 비해 상대적으로 적은 것으로 나타났다.

## 2. 어류상

### 1) 종 조성

홍천군 명개리 열목어 서식지에서 출현한 어류는 총 7과 16종 1,119개체가 확인되었다(Table 2). 범정보호종으로는 멸종위기야생생물 II급인 열목어(*Brachymystax lenok tsinlingensis*)와 가는돌고기(*Pseudopungtungia tenuicarpa*)가 출현하였으며, 천연기념물 제259호인 어름치(*Hemibarbus mylodon*) 1종이 확인되었다. 과별 종구성비 분석 결과 잉어과(Cyprinidae)에서 9종(56.25%)으로 가장 다양하게 출현하였으며, 미꾸리과(Cobitidae) 2종(12.50%), 메기과(Siluridae), 통가리과(Amblycipitidae), 연어과(Salmonidae), 독중개과(Cottidae), 꺾지과(Centropomidae)에서 각각 1종(6.25%)의 순으로 출현하였다. 과별 개체수 구성비 분석 결과 잉어과에서 924개체(82.57%), 꺾지와 98개체(8.76%), 연어과 48개체(4.29%), 통가리과 16개체(1.43%), 메기과 15개체(1.34%), 미꾸리과 13개체(1.16%), 독중개과 5개체(0.45%)의 순으로 확인되었다. 일반적으로 잉어과 어종이 많이 출현한 것은 우리나라 서·남해로 흐르는 하천이나 강의 대표적인 특징으로(Kim and Park 2002; Byeon and Lee 2006; Lee et al. 2008; Ko et al. 2012) 본 연구 결과와도 일치하는 것으로 나타났다. 출현종별 상대풍부도 분석 결과 금강모치(*Rhynchocypris kumgangensis*)가 478개체(42.71%)로 가장 우세하게 출현하였고, 참갈겨니(*Zacco koreanus*) 343개체(30.65%), 꺾지(*Coreoperca herzi*) 98개체(8.76%), 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*) 56개체(5.00%), 열목어 48개체(4.29%) 등의 순으로 출현하였다. 한국고

유종은 해당 지역의 생물상을 특징짓는 기준이 되는 경우가 많으며(Jeon 1980), 서·남해로 흐르는 하천은 잉어과(Cyprinidae) 우세 현상으로 고유화 빈도가 높은 특징을 나타낸다(Choi et al. 1995; Kim and Lee 2001; Byeon et al. 2008; Kim et al. 2012; Han and An. 2013; Chae et al. 2015; Kim and Lee 2018). 열목어 서식지에서 채집된 한국고유종은 가는돌고기, 쉬리, 어름치, 배가사리(*Microphysogobio longidorsalis*), 금강모치, 참갈겨니, 새코미꾸리(*Koreocobitis rotundicaudata*), 참중개(*Iksookimia koreensis*), 미유기(*Silurus microdorsalis*), 통가리(*Liobagrus andersoni*), 꺾지 등 총 11종으로 68.75%의 높은 고유종 빈도를 나타내었다.

조사 하천별 종 조성을 분석한 결과 계방천에서는 총 7과 15종 771개체로 잉어과가 8종(53.32%)으로 가장 다양한 종이 출현하였으며, 미꾸리과 2종(13.33%), 메기과, 통가리과, 연어과, 독중개과, 꺾지과에서 각각 1종(6.67%)으로 확인되었다. 출현개체수는 잉어과 659개체(85.46%), 꺾지와 57개체(7.39%), 연어과 16개체(2.08%), 메기과 14개체(1.82%), 통가리과 12개체(1.56%), 미꾸리과 8개체(1.04%), 독중개과 5개체(0.65%)가 조사되었다. 내린천에서는 총 4과 13종 348개체로 잉어과가 7종(53.86%)으로 가장 다양한 종이 출현하였으며, 미꾸리과 2종(15.38%), 메기과, 통가리과, 연어과, 꺾지과가 각각 1종(7.69%)으로 확인되었다. 출현개체수는 잉어과 265개체(76.14%), 꺾지와 41개체(11.78%), 연어과 32개체(9.20%), 미꾸리과 5개체(1.44%), 통가리과 4개체(1.15%), 메기과 1개체(0.29%)가 조사되었다. 일반적으로 한국고유종은 수환경 상태가 악화되면 급격히 감소가 발생하는 것으로 알려져 있지만(Choi et al. 2000), 계방천과 내린천의 한국고유종 빈도는 각각 73.33%, 76.92%의 매우 높게 나타났다. 이는 계방천과 내린천에 여울(riffle)과 소(pool)가 광범위하게 분포하고 있으며, 하천 내 직·간접적인 서식지 교란이 적어 양호한 수환경을 유지하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

### 2) 과거 문헌과의 비교

본 연구 대상지인 계방천과 내린천 수계에서 실시한 문헌조사 결과 Nam et al. (1998)은 총 36종이 보고되었으며, 본 연구지역과 인접하거나 동일한 지역에서는 12종이 서식하는 것으로 확인되었다. Choi and Choi (2005)는 총 26종이 보고되었으며, 본 연구지역과 인접하거나 동일한 지역에서는 9종이 서식하는 것으로 확인되었다. Yoon et al.

**Table 2.** The individual number of fish collected at each station in Gyebeang Stream and Naerin Stream in South Korea

Species	Sampling stations											Total	Nam et al. (1998)	Choi et al. (2005)	Yoon et al. (2013)	Hongcheongun (2013)		
	GB						NR											
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9	St. 9								
<b>Family Cyprinidae</b>																		
<i>Pungtungia herzi</i>		1																
▲★ <i>Pseudopungtungia tenuicorpa</i>			1	2			3	15										◎
★ <i>Coreoleuciscus splendidus</i>		2	18	12	1	6	4	13	56									◎
<i>Ladislavia taczanowskii</i>	12					1			13									◎
<i>Hemibarbus longirostris</i>									6									◎
◆★ <i>Hemibarbus mylodon</i>				1					1									◎
▲★ <i>Gobiobotia brevibarba</i>																		◎
★ <i>Microphysogobio yaluensis</i>																		◎
★ <i>Microphysogobio longidorsalis</i>				2				3	5									◎
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>																		◎
★ <i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	51	33	98	30	130	74	30	29	3	478								◎
★ <i>Zacco koreanus</i>	36	48	87	94			6	72	343									◎
<i>Zacco platypus</i>																		◎
<b>Family Cobitidae</b>																		
★ <i>Koreocobitis rotundicaudata</i>		1	1	5				4	11									◎
★ <i>Iksookimia koreensis</i>					1			1	2									◎
<b>Family Siluridae</b>																		
★ <i>Silurus microdorsalis</i>	1		4	8	1	1		15										◎
<b>Family Amblycipitidae</b>																		
★ <i>Liobagrus andersoni</i>		4	5	3	1	1	1	2	16									◎
<b>Family Salmonidae</b>																		
▲ <i>Brachymystax lenok tsinlingensis</i>	8	4	4	3	1	1	1	30	48									◎
<b>Family Cottidae</b>																		
<i>Cottus koreanus</i>									5									◎
<b>Family Centropomidae</b>																		
★ <i>Coreoperca herzi</i>	8	10	23	16	2	9	8	22	98									◎
Total number of family	4	4	6	6	5	4	5	4	7									7
Total number of species	6	7	9	11	6	6	5	6	10	16								19
Total number of individual	116	99	241	176	139	85	45	49	169	1,119								-

GB: Gyebeang Stream, NR: Naerin Stream, ★: Korean endemic species, ◆: Natural monument, ▲: Endangered species

(2013)은 계방천에서 이루어진 조사만 인용하였으며, 열목어를 포함하여 총 2종의 어류가 보고되었다. 본 연구지역과 동일한 조사범위에서 실시한 Hongcheon-gun (2013)은 총 19종이 보고되었다(Table 2). 기존연구에서 출현하였으나 본 연구에서 출현하지 않은 종은 돌상어(*Gobiobotia brevivirba*), 돌마자(*Microphysogobio yaluensis*), 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*), 피라미(*Zacco platypus*) 등 4종이었으며, 이들 종은 일시적으로 계방천에 소상한 개체가 확인된 것으로 추정된다. 한편, 천연기념물인 어름치의 경우 본 연구에서 처음 서식이 확인되었으며, 어름치 또한 내린천 하류에서 소상한 종으로 판단된다. 한편, 이들 5종은 계방천에서만 확인되었는데, 이는 내린천의 경우 침소폭포의 장벽으로 인하여 상류로의 소상이 제한되어 나타난 결과로 판단된다.

### 3. 군집분석

열목어 서식지에서 출현한 어종을 대상으로 군집분석을 실시한 결과 지점별 평균 우점도지수  $0.63 (\pm 0.09) \sim 0.97 (\pm 0.01)$ , 다양도지수  $1.63 (\pm 0.23) \sim 0.33 (\pm 0.09)$ , 균등도지수  $0.79 (\pm 0.06) \sim 0.24 (\pm 0.07)$ , 풍부도지수  $0.67 (\pm 0.14) \sim 1.80 (\pm 0.16)$ 의 범위로 분석되었다(Table 3). 대부분의 조사지점에서 우점도지수가 높고, 다양도지수, 균등도지수, 풍부도지수가 낮은 불안정적인 군집구조로 나타났는데, 불안정적인 군집구조는 하천 산간 계류와 상류역에서 나타나는 일반적인 양상으로 알려져 있다(Choi and Choi 2005). 일반적으로 종다양성은 상류역에서 가장 낮고, 중류에서 가장 높으며, 하류에서 다시 낮아지는 경향을 보이는 것으로 알려져 있는데(Choi and Byeon 2009), 조사지역의 군집지수 또한 하류로 갈수록 종다양성이 증가하고 있는 것으로 확인되었다. 한편 상대적으로 우점도지

수가 낮고, 다양도지수가 높게 분석된 St. 9는 계방천과 내린천 합류지역으로 침소 폭포로 인해 형성된 깊고 넓은 소(pool)와 다양한 미소 서식처가 형성되어 있어 가장 양호한 군집구조를 유지하고 있는 것으로 판단된다.

### 4. 내성도 및 섭식 길드 분석

내성도 길드(Tolerance guild) 분석 결과(Fig. 2a) 민감종(Sensitive species)은 95.86 (St. 9)~100.00 (St. 1, St. 3, St. 4, St. 5, St. 6, St. 7, St. 8)%의 개체수 비율로 대부분의 지점에서 높게 나타났다. 민감종은 우점종 및 아우점종인 금강모치와 참갈겨니를 포함하여 법정보호종인 가는돌고기, 어름치, 열목어 등 총 15종이 확인되었다. 중간종(Intermediate species)은 참마자(*Hemibarbus longirostris*), 참중개 2종으로 1.01 (St. 2)~4.14 (St. 9)%의 낮은 비율로 나타났고, 내성종(Tolerant species)은 확인되지 않았다. 일반적으로 유기물 오염 증가, 서식지 교란과 같은 서식처의 질적 저하는 민감종을 감소시키고, 내성종과 잡식종의 비율을 증가시키는 것으로 알려져 있으며(Karr 1981; US EPA 1991; Choi et al. 2005; Wang et al. 2017; Park et al. 2017), 상류에서 하류로 갈수록 민감종이 감소하는 것으로 알려져 있다(Park et al. 2009). 따라서 민감종의 비율이 매우 높은 것으로 분석된 계방천과 내린천은 안정적인 서식환경을 유지하고 있는 것으로 판단된다.

섭식 길드(Trophic guild) 분석 결과(Fig. 2b) 충식종(Insectivore)은 65.09 (St. 9)~98.56 (St. 5)%의 개체수 비율로 출현하였다. 우점종 및 아우점종을 포함하여, 법정보호종(가는돌고기, 어름치), 돌고기, 쉬리, 참마자, 참중개, 통가리, 독중개 10종이 충식종으로 확인되었으며, 육식종(Carnivore)은 1.44 (St. 5)~30.77 (St. 9)%의 개체수 비율로 미유기, 열목어, 꺾지 3종이 확인되었다. 초식종

**Table 3.** Dominant, subdominant species, and community indices at each site in Gyeong Stream and Naerin Stream in South Korea

Site	Dominant species	Subdominant species	DI	H'	E	RI	
GB	St. 1	<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	<i>Zacco koreanus</i>	0.74 (±0.06)	1.34 (±0.04)	0.79 (±0.06)	1.11 (±0.09)
	St. 2	<i>Zacco koreanus</i>	<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	0.82 (±0.01)	1.16 (±0.09)	0.69 (±0.02)	1.17 (±0.04)
	St. 3	<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	<i>Zacco koreanus</i>	0.77 (±0.01)	1.37 (±0.02)	0.68 (±0.01)	1.37 (±0.14)
	St. 4	<i>Zacco koreanus</i>	<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	0.71 (±0.05)	1.44 (±0.18)	0.64 (±0.09)	1.91 (±0.17)
NR	St. 5	<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	<i>Zacco koreanus</i>	0.97 (±0.01)	0.33 (±0.09)	0.24 (±0.07)	0.72 (±0.05)
	St. 6	<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	<i>Cottus koreanus</i>	0.96 (±0.01)	0.46 (±0.11)	0.39 (±0.14)	0.67 (±0.14)
	St. 7	<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	<i>Coreoperca herzi</i>	0.92 (±0.09)	0.79 (±0.26)	0.71 (±0.06)	0.79 (±0.33)
	St. 8	<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	<i>Coreoperca herzi</i>	0.80 (±0.02)	1.16 (±0.09)	0.73 (±0.04)	1.25 (±0.19)
	St. 9	<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	<i>Brachymystax lenok</i>	0.63 (±0.09)	1.63 (±0.23)	0.74 (±0.07)	1.80 (±0.16)

GB: Gyeong stream, NR: Naerin stream, DI: Dominance Index, H': Diversity Index, E: Evenness Index, RI: Richness Index

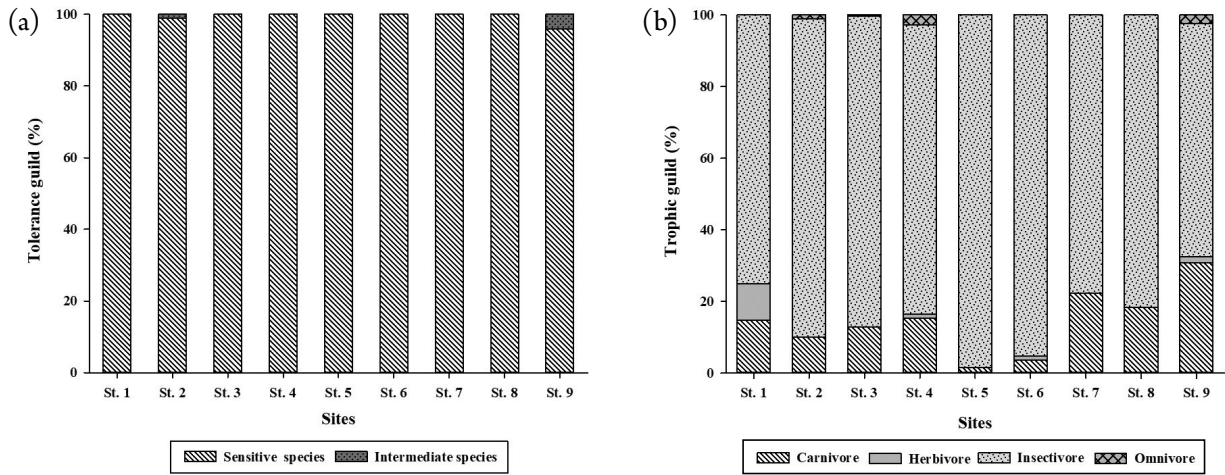


Fig. 2. Tolerance guild analysis (a) and trophic guild analysis (b) in Gyebang Stream and Naerin Stream in South Korea.

(Herbivore)은 0.00 (St. 2, St. 3, St. 7, St. 8)~10.34 (St. 1)%의 개체수 비율로 새미, 배가사리 2종이 확인되었다. 가장 소수의 종과 개체가 채집된 잡식종(Omnivore)은 0.00 (St. 1, St. 5, St. 6, St. 7, St. 8)~2.84 (St. 4)%의 개체수 비율로 새코미꾸리 1종이 확인되었다. 조사지역에서 가장 많은 개체수가 채집된 충식종은 하천차수의 증가에 따라 종과 개체가 감소하는 것으로 보고된 바 있고(Lee *et al.* 2017), 유기물 오염이나 서식지 훼손에 따라 내성종과 잡식종의 종수 및 개체수가 증가하는 것으로 알려져 있다(Karr 1991; US EPA 1991). 조사지역의 계방천 및 내린천은 대부분 충식종으로 확인되었고, 소수의 잡식종의 개체가 채집된 결과로 볼 때, 조사지역은 하천차수가 낮은 상류지역의 특성을 잘 나타내고 있는 것으로 판단된다. 또한 육식종의 경우 상대빈도가 5% 이상일 때 ‘최상’, 1~5%는 ‘보통’, 1% 미만인 경우에 생태계 ‘악화’로 규정한 바에 따르면(US EPA 1993), 계방천과 내린천의 육식종 출현빈도는 전체 13.22%로 ‘최상’의 범주(계방천, 11.02%; 내린천, 21.84%)로 분석되어 양호한 서식처로 판단된다.

### 5. 생태적 건강성 평가

조사지역의 생태건강도를 평가하기 위해 어류평가지수 (FAI) 및 물리적 서식처 평가 지수(QHEI)를 분석하였다. 조사지점별 FAI 지수를 이용한 하천 건강성 평가 결과 평균 71.9(±9.4)~96.9(±3.1)의 범위로 분석되었다(Table 4). St. 1을 포함하여 하류 지점인 St. 3, St. 4, St. 8, St. 9에서 평균 A등급으로 나타났고, St. 2, St. 5, St. 6, St. 7에서 평균

B등급으로 분석되었다. FAI 분석 결과 계방천과 내린천의 대부분의 지점들의 하천건강성은 좋음 상태 이상을 유지하고 있는 것으로 나타났고, 두 하천 모두 상류지역보다는 하류지역으로 갈수록 평균 FAI 지수 값이 점차 증가하는 것으로 나타났다.

조사지점별 QHEI는 평균 119.5(±0.5)~153.5(±0.5)의 범위인 ‘최적~양호’ 등급으로 분석되었다(Table 4). 대부분의 조사지점에서 자연성이 높은 상태를 유지하고 있었으며, 하천 양안에 수변식생과 높은 수관 등이 고루 분포하는 것으로 조사되었다. 반면, 가장 낮은 지수 값을 보인 St. 6은 우안이 콘크리트 구조물로 구성되어 있고, 제방은 고령지 채소밭으로 이용되어 자연성이 낮았으며, 고령지 채소밭으로부터 토사가 하천으로 유입되고 있어 나타

Table 4. Analysis of the fish assessment index and qualitative habitat evaluation index in Gyebang Stream and Naerin Stream in South Korea

Site	FAI		QHEI		
	Mean	Class	Mean	Class	
GB	St. 1	876 (±6.3)	A	148.5 (±2.5)	S
	St. 2	78.2 (±3.2)	B	130.0 (±2.0)	S
	St. 3	90.7 (±3.2)	A	148.5 (±3.5)	S
	St. 4	96.9 (±3.1)	A	146.0 (±3.0)	S
NR	St. 5	75.1 (±6.3)	B	138.0 (±1.0)	S
	St. 6	75.0 (±12.5)	B	119.5 (±0.5)	S
	St. 7	71.9 (±9.4)	B	139.0 (±0.0)	S
	St. 8	81.3 (±6.3)	A	149.5 (±0.5)	O
	St. 9	93.8 (±6.3)	A	153.5 (±0.5)	O

GB: Gyebang Stream, NR: Naerin Stream, A: 100.0 ≥ A ≥ 80.0, B: 80.0 > B ≥ 60.0, O (Optimal): 200 - 149, S (Suboptimal): 148 - 91



난 결과로 판단된다.

### 6. 어류평가지수(FAI)와 다양한 항목 간의 상관성 분석

지점별 FA의 분석 결과와 QHEI, 열목어 개체수, 종수 및 개체수, 군집분석(우점도지수, 다양도지수, 풍부도지수, 균등도지수), 내성도길드(민감종, 중간종) 및 섭식실드(육식종, 초식종, 충식종, 잡식종) 개체수 간의 상관성 분석(Pearson correlation analysis)을 실시하였다(Table 5). FAI는 QHEI, 열목어 개체수, 종수, 개체수, 다양도, 풍부도, 민감종, 육식종, 충식종, 잡식종과는 양의 상관성을 갖는 것으로 나타났으며, 우점도와는 음의 상관성을 갖는 것으로 분석되었다. 특히 종수, 우점도, 풍부도는 통계적으로 높은 상관성을 갖는 것으로 분석되었다( $p < 0.001$ ). 하천의 건강성이 악화될수록 민감종과 중간종은 감소하고, 내성종은 증가하며, 우점도는 감소하고, 다양도, 균등도, 풍부도가 증가할수록 하천의 군집이 양호한 상태를 나타내는 것으로 알려져 있다(Karr 1981; US EPA 1991; An *et al.* 2001; An *et al.* 2006). 본 연구 결과 역시 FAI 지수가 증가할수록 우점도지수는 감소하고, QHEI 지수, 열목어 개체수, 민감종과 다양도지수는 증가하는 것으로 분석되어 기존 연구 결과와 일치하는 것으로 나타났다.

### 7. 유사도 분석

조사지점별 출현종과 개체수를 대상으로 종조성의 유사성을 파악하기 위해 유사도분석을 실시하였다(Fig. 3). 분석 결과 56.9%의 유사성을 기준으로 A, B, C 3개의 Group으로 구분되었다. Group-A는 모두 계방천 지점으로 St. 3과 St. 4에서 75.2%의 가장 높은 유사성을 갖는 것으로 분석되었고, St. 1과 St. 2에서 71.6%의 유사성을 갖는 것으로 분석되었다. Group-B는 모두 내린천 지점으로 St. 7과 St. 8에서 82.9%의 가장 높은 유사성을 갖는 것으로 분석되었으며, St. 5과 St. 6에서 67.8%의 유사성을 갖는 것으로 분석되었다. Group-A, Group-B는 각각 계방천과 내린천 두 그룹으로 확연하게 구분되었으며, 그룹 내에서는 각각 상류와 하류로 구분되었다. 계방천 및 내린천의 상류는 일부 민가가 분포하고 있으나 자연성이 높은 산림지역이 대부분을 차지하고 있어 피도의 비율이 높았으며, 제방, 하상 등의 자연성과 미소서식처가 비교적 잘 발달된 상태였다. 그러나 하류의 경우 농경지, 민가, 시설지(상업시설, 캠핑장 등) 등의 비율이 높아지고, 콘크리트 제방과 고령지 채소밭 등의 원인으로 상류와 하류가 서로 구분된 것으로 판단된다. 한편, Group-C는 계방천과 내린천의 합류 구간으로 다른 조사지점과 종조성의 유사성이 가장 낮은 것으로

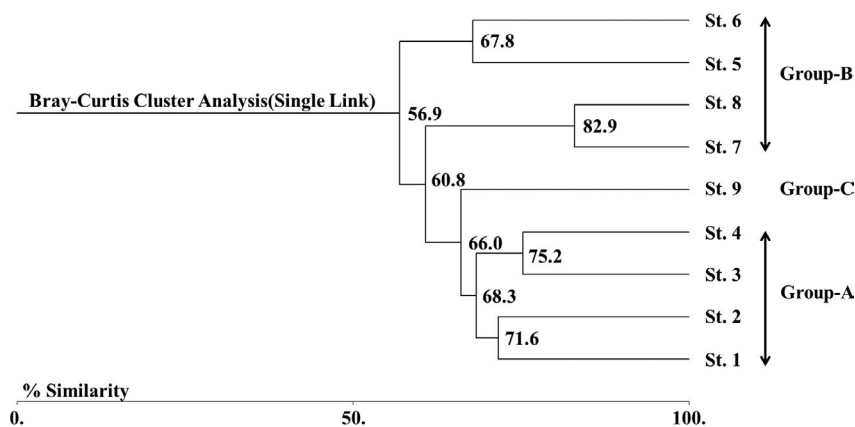


Fig. 3. Bray-Curtis similarity diagram between the sampling sites in Gyebang Stream and Naerin Stream in South Korea.

Table 5. Correlation analysis for each item according to FAI

Factors	QHEI	No. of <i>B. lenok tsinlingensis</i>	Sp	In	DI	H'	E	RI	SS	IS	C	H	I	O
FAI	.527*	.486*	.851***	.685**	-.751***	.692**	.202	.811***	.681**	.281	.735**	.178	.555*	.607**

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ . FAI: Fish assessment index, QHEI: Qualitative habitat evaluation index, Sp: No. of species, In: No. of individuals, DI: Dominance index, H': Diversity index, E: Evenness index, RI: Richness index, SS: Sensitive species, IS: Intermediate species, C: Carnivore, H: Carnivore, I: Insectore, O: Omnivore

나타났다. 이는 침소 폭포와 같은 뚜렷한 서식처 특성에 의한 결과로 판단된다. 따라서 계방천과 내린천은 하천별 어류상에서 차이를 보이며, 이러한 차이는 하천의 서식처 특성에 의한 결과인 것으로 생각된다.

## 고 찰

홍천 열목어 서식지인 계방천과 내린천은 범정보호종과 고유종 등의 종다양성 측면에서 생물서식처로서 매우 높은 가치가 있는 것으로 확인되었다. 조사지점 중 가장 양호한 군집구조로 나타난 St. 9는 계방천과 내린천의 합류지역으로 침소 폭포와 다양한 미소 서식처가 넓게 형성되어 있는 것으로 확인되었다. 계방천은 내린천에 비해 상대적으로 안정적인 군집구조와 높은 종다양성을 나타내었으며, 과거 문헌 결과(Hongcheon-gun 2013)에서도 내린천 상류에 비해 계방천이 더 높은 종다양성을 보였다. 또한, 유사도 분석 결과에서도 Group-A는 계방천, Group-B는 내린천, Group-C는 계방천과 내린천의 합류부로 구분되어 서로 다른 어류상을 나타내는 것으로 분석되었다. 이는 내린천 상류 지역의 경우 단차가 높은 침소 폭포를 지나 소상해야 하기 때문에 소상능력이 적은 종이나 크기가 작은 개체들은 상류로의 이동이 제한되어 나타난 결과로 판단된다. 뿐만 아니라 이러한 물리적 서식처 단절로 인해 본 조사 시 새롭게 확인된 어름치와 과거 문헌에서 확인된 돌상어, 돌마자, 버들치, 피라미 등의 어종은 계방천과 내린천 합류부에서만 출현한 것으로 판단된다. FAI 및 QHEI 분석결과 조사지역 주변의 산림, 고령지 채소밭, 팬션 등이 분포함에 따라 어류의 서식에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 따라서 홍천 열목어 서식지에 서식하는 열목어 개체군의 관리 및 종다양성 증진을 위해 계방천과 내린천 주변 토지이용을 파악하고, 지속적인 모니터링을 통해 범정보호종의 서식 분포 확인 및 서식처 교란 요인 제거 등의 관리방안이 필요할 것으로 판단된다.

## 적 요

본 연구는 홍천 명개리 열목어 서식지 일대의 어류군집을 이용하여 생태적 건강성 및 물리적 서식지를 평가하고자 하였다. 현지조사는 2018년 7월부터 9월 총 2회 조사를 실시하였다. 조사결과 계방천에서는 7과 15종 771개

체, 내린천에서는 4과 13종 348개체로 총 7과 16종 1,119개체가 확인되었고, 금강모치가 우점, 참갈겨니가 아우점하였다. 계방천과 내린천의 한국고유종 빈도는 각각 73.33(11종)%, 76.92(10종)%의 매우 높은 고유성으로 나타났다. 군집분석 결과 조사지점별 평균 우점도지수는 0.63( $\pm 0.09$ )~0.97( $\pm 0.01$ ), 다양도지수는 1.63( $\pm 0.23$ )~0.33( $\pm 0.09$ ), 균등도지수는 0.79( $\pm 0.06$ )~0.24( $\pm 0.07$ ), 풍부도지수는 0.67( $\pm 0.14$ )~1.80( $\pm 0.16$ )의 범위로 분석되었다. 내성도길드 분석 결과 민감종의 개체가 95.86~100.00%의 개체수 비율로 가장 많은 비율을 차지하였으며, 섭식길드 분석 결과 충식종이 65.09~98.56%의 개체수 범위로 가장 많은 비율을 차지하였다. FAI 지수는 71.9( $\pm 9.4$ )~96.9( $\pm 3.1$ )의 범위로 ~B등급으로 확인되었다. QHEI는 119.5( $\pm 0.5$ )~153.5( $\pm 0.5$ )의 범위인 '최적~양호' 등급으로 분석되었다. FAI와 다양한 항목간의 상관성 분석 결과 QHEI, 열목어 출현 개체수, 종수, 개체수, 다양도, 풍부도, 민감종, 육식종, 충식종, 잡식종과는 양의 상관성을 갖는 것으로 나타났으며, 우점도와는 음의 상관성을 갖는 것으로 분석되었다. 유사도 분석 결과 56.9%의 유사성을 기준으로 Group-A, Group-B, Group-C 세 그룹으로 나뉘었으며, Group-A는 계방천, Group-B는 내린천, Group-C는 계방천과 내린천의 합류부로 구분되었다.

## 사 사

본 연구는 홍천군(과제번호: 201800840001, 홍천 명개리 열목어 서식지 서식실태조사 용역)의 지원을 받아 수행되었습니다.

## REFERENCES

- An KG, SH Jung and SS Choi. 2001. An evaluation on health conditions of Pyong-Chang River using the Index of Biological Integrity (IBI) and Qualitative Habitat Evaluation Index (QHEI). Korean J. Limnol. 34:153-165.
- An KG, JY Lee, DY Bea, JH Kim, SJ Hwang, DH Won, JK Lee and CS Kim. 2006. Ecological assessments of aquatic environment using multi-metric model in major nationwide stream watersheds. Korean J. Soc. Water Environ. 22:796-804.
- Barbour MT, J Gerritsen, BD Snyder and JB Stribling. 1999. Rapid

- Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, 2nd Edition. EPA 841-B-99-002. Office of Water, US Environmental Protection Agency. Washington, DC, USA.
- Bray JR and JT Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. Ecol. Monogr. 27:325-349.
- Byeon HK and WO Lee. 2006. The ichthyofauna and fish community in the lower course of the Imjin river. Korean J. Limnol. 39:32-40.
- Byeon HK. 2011. The characteristic of fish fauna and *Brachymystax lenok tsinlingensis* individuals in the Bonghwa-gun, Korea. Korean J. Environ. Ecol. 25:878-886.
- Byeon MS, HK Park, WO Lee and DS Kong. 2008. Fish fauna and community structure in Lake Paldang and its inflows. Korean J. Soc. Water Environ. 24:206-213.
- Chae BS, SK Kim, YH Kang, NS HEO, JM Park, HU Ha and UW Hwang. 2015. Ichthyofauna and fish community structure in upper reach of the Nakdong River, Korea. Korean J. Ichthyol. 7:116-132.
- Choi JK and HK Byeon. 2009. The fish fauna and community of Gwangneung arboretum. Korean J. Limnol. 42:145-152.
- Choi JK, HK Byeon and HK Seok. 2000. Studies on the dynamics of fish community in Wonju stream. Korean J. Limnol. 33:274-281.
- Choi JK, HS Shin and JS Choi. 2005. Fish community analysis in the Wonju stream. Korean J. Environ. Ecol. 19:46-54.
- Choi JS, HK Byeon and KS Choi. 1995. Studies on stream conditions and fish community in Osip stream (Samchuk County). Korean J. Limnol. 28:263-270.
- Choi JS and JK Choi. 2005. Fish fauna and disturbance in Odaesan National Park, Korea. Korean J. Limnol. 19:177-187.
- Choi KC, SR Jeon, IS Kim and YM Son. 2002. Colored Illustrations of The Freshwater Fishes of Korea. Hyangmunsa Press Co., Seoul. pp. 154-156.
- Craig DA. 1987. Some of what you should know about water: or K.I.S.S. for hydrodynamics. Bull. North Am. Benthol. Soc. 4:178-182.
- Cummins KW. 1962. An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic water. Am. Midl. Nat. 67:477-504.
- Han JH and KG An. 2013. Chemical water quality and fish community characteristics in the id-to downstream reach of Geum River. Korean J. Environ. Biol. 31:180-188.
- Hongcheon-gun. 2013. The Study of the Inhabitaion Status of *Brachymystax lenok tsinlingensis* Habitat in Myeong-gae-ri, Hongcheon-gun. p. 136.
- Jang JE, JH Kim, JH Kang, SY Baek, JH Wang, HG Lee, JK Choi, JS Choi and HJ Lee. 2017. Genetic diversity and genetic structure of the endangered Manchurian trout, *Brachymystax lenok tsinlingensis*, at its southern range margin: conservation implications for future restoration. Conserv. Genet. 18:1023-1036.
- Jeon SR. 1980. Studies on the distribution of freshwater fishes from Korea. PhD. Thesis, Chungang University. Seoul. pp. 14-49.
- Jones JPG, FB Andriahajaina and NJ Hockley. 2005. A multidisciplinary approach to assessing the sustainability of freshwater crayfish harvesting in Madagascar. Conserv. Biol. 19:1863-1871.
- Karr JR. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. Fisheries 6: 21-27.
- Kim IS. 1997. Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korean. Ministry of Education. Sejong, Korea. p. 632.
- Kim IS and JY Park. 2002. Freshwater Fishes of Korea. Kyohak, Seoul. p. 465.
- Kim IS, Y Choi, CL LEE, YJ Lee, BJ Kim and JH Kim. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. Kyohak. Seoul, Korea p. 615.
- Kim JE and HG Lee. 2018. The evaluation of potential invasive species in the Gangneungnamdae stream in Korea using a Fish Invasiveness Screening Kit. Korean J. Environ. Biol. 36:73-81.
- Kim JH, JD Yoon, HB Jo, KH Chang and MH Jang. 2012. Stream health assessment on Hoeya river basin and other streams based on fish community and land use in the surrounding watersheds. Korean J. Limnol. 45:392-402.
- Kim JR and CL Lee. 2001. Ichthyofauna and fish community from the Dongjin river system, Korea. Korean J. Ichthyol. 13:40-49.
- Kim SJ, MS Shin, JK Kim, JY Lee, KJ Jeong, BY Ahn and BC Kim. 2012. Oxygen fluctuation monitored with high frequency in a eutrophic urban stream (the Anyang stream) and the effect of weather condition. Korean J. Limnol. 45:34-41.
- Ko DG, JH Han and KG An. 2012. Length-weight relations and condition factor (K) of *Zacco platypus* along trophic gradients in reservoir ecosystems. Korean J. Limnol. 45:174-189.
- Lee SJ, HS Prak and KG An. 2017. Preliminary environmental impact assessments on fish compositions and the ecological health of Jeokbyeok River on the road construction of Muju-Geumsan region. J. Environ. Impact Assess. 26:27-43.
- Lee WO, KH Kim, JH Kim and KE Hong. 2008. Study of freshwater fish fauna and distribution of introduced species of Mankyeong river, Korea. Korean J. Ichthyol. 20:198-209.
- Lee WO, H Yang, SW Yoon and JY Park. 2009. Study on the feeding habits of *Micropterus salmoides* in lake Okjeong and Yongdam, Korea. Korean J. Ichthyol. 21:200-207.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. General Sys-

- tems 3:36–71.
- McNaughton SJ. 1967. Relationship among functional properties of California grassland. *Nature* 216:168–169.
- ME. 2007. National Aquatic Ecological Monitoring Program. Ministry of Environment. Sejong, Korea.
- Na HH, SJ Lee, KG An. 2019. The influence of chemical water quality on fish trophic guilds, pollution tolerance, and multi-metric ecological health in the main streams of Mangyeong River. *Korean J. Environ. Biol.* 37:8–18.
- Nam MM, HY Yang, BS Chae and YJ Kang. 1998. The fish fauna and community structure in the Naerin stream. *Korea J. Ichthyol.* 10:61–66.
- Nelson JS. 2006. *Fishes of the World* (4th ed.). John Wiley and Sons, New York. p. 601.
- Ohoi EPA. 1987. *Biological Criteria for The Protection of Aquatic Life. Vol. II, Users Manual for Biological Field Assessment of Ohio Surface Waters.* Columbus, Ohio, USA.
- Park HY, JM Yoon, GN Jang and HT Hur. 1995. *Fish Biology.* Jungmunkag, Seoul. p. 50.
- Park HK, JK Choi, KH Won and HG Lee. 2017. Study on the evaluation of ecological health by using fish communities in the Wonju stream, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 35:684–693.
- Pielou EC. 1975. *Ecological Diversity.* John Wiley and Sons, New York. p. 165.
- Plafkin JL, MT Barbour, KD Porter, SK Gross and RM Hughes. 1989. Rapid assessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish. EPA/444/4-89-001, office of water regulations and standards, US EPA. Washington, DC, USA.
- Rutherford DA, AA Echelle and OE Maughan. 1987. Changes in the Fauna of the Little River Drainage, South-Eastern Oklahoma, 1945–1955 to 1981–1982: Test of the Hypothesis of Environmental Degradation. Community and Evolution Ecology of North American Stream Fishes. Univ. of Oklahoma. p. 17.
- Shannon CE and W Weaver. 1949. *The Mathematical Theory of Communication.* University of Illinois press, Urbana. p. 233.
- US EPA. 1991. Technical Support Document for Water Quality-Base Toxic Control. EPA 505-2-90-001. Office of Water Regulations and Standards, US EPA. Washington, DC, USA.
- US EPA. 1993. *Fish Field an Laboratory Methods for Evaluation the Biological Integrity of Surface Waters.* EPA 600-R-92-111. Environmental Monitoring Systems Laboratory-Cincinnati Office of Research Development, US EPA. Cincinnati, Ohio, USA.
- Wang JH, JE Kim, JK Choi, HJ Lee, YC Cho and HG Lee. 2017. The fish community and habitat analysis in the Bongseonsa stream within Gwangneung forest, South Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 35:105–115.
- Yoon HN, KD Kim, YL Jeon, JH Lee and YJ Park. 2013. Stomach contents of the Manchurian trout (*Brachymystax lenok tsinlingensis*) and River salmon (*Oncorhynchus masou masou*) in the Odae mountain, Gangwondo. *Korean J. Ichthyol.* 25:90–105.
- Yoon JD and MH Jang. 2009. Migration patterns of *Brachymystax lenok tsinlingensis* using radio tags in the upper part of the Nakdong River. *Korean J. Limnol.* 42:58–66.
- Yoon SJ, JK Choi and HG Lee. 2014. Long-term variation of the fish community in the upper region of the Gapyeong Stream, Korea. *Korean J. Environ. Ecol.* 28:432–441.