

# 속리산국립공원 화양천의 어류군집 특성 및 멸종위기종 가는돌고기 *Pseudopungtungia tenuicorpa*와 묵납자루 *Acheilognathus signifer*의 서식양상

고명훈\* · 한미숙 · 명라연<sup>1</sup> · 윤형진<sup>2</sup>

고수생태연구소, <sup>1</sup>이화여자대학교 에코과학부, <sup>2</sup>속리산국립공원

**Fish Community Characteristics and Habitat Aspects of Endangered Species *Pseudopungtungia tenuicorpa* and *Acheilognathus signifer* in the Hwayangcheon Stream, Hangang River of Songnisan National Park, Korea by Myeong-Hun Ko\*, Mee-Sook Han, Ra-Yeon Myung<sup>1</sup> and Hyeong-Jin Yun<sup>2</sup>** (Kosoo Biology institute, Seoul 07955, Republic of Korea; <sup>1</sup>Division of EcoScience, Ewha Womans University, Seoul 03760, Republic of Korea; <sup>2</sup>Korea National Park Service, Songnisan National Park, Boeun 28910, Republic of Korea)

**ABSTRACT** Fish community characteristics and habitat aspects of endangered species, *Pseudopungtungia tenuicorpa* and *Acheilognathus signifer* were investigated in the Hwayangcheon Stream of Songnisan National Park, a tributary of the Hangang River, Korea from April to October 2018. During this period, there were 29 species of 8 families collected from 11 survey stations using kick nets, cast nets long bag set nets. The dominant and subdominant species were *Zacco koreanus* (38.81%) and *Rhynchocypris oxycephalus* (16.64%), respectively. The next most abundant species were *Z. platypus* (14.28%), *Pungtungia herzi* (6.92%), *Hemibarbus longirostris* (4.52%), *Pseudogobio esocinus* (3.51%), *A. signifer* (2.31%) and *P. tenuicorpa* (1.90%). Among the fish collected, 18 species (62.1%) were Korean endemic species. Endangered species were *A. signifer*, *P. tenuicorpa* and *Gobiobotia brevibarba*. From upstream to downstream, the dominance index has gradually decreased, but number of species and individuals, diversity and evenness has gradually increased. Also, river health (index of biological integrity) is assessed as good (St. 1~8) and very good (St. 9~11). Fish communities were divided into four sections by the similarity index based on species and their numbers, i.e., upper section (St. 1~2, 4~5), upper-middle section (St. 3, 6), middle section (St. 7~9) and lower section (St. 10~11). Endangered species, *Pseudopungtungia tenuicorpa* inhabited in mostly lower section (St. 10~11) with rock and boulder bottoms, and age groups in April estimated from total length indicated that the 44~61 mm group is 1 year old, the 66~81 mm group is 2 years old, the 88~99 mm group is 3 years old, and the 104~107 mm group is more than 4 years old. Also, endangered species, *A. signifer* inhabited in middle-lower section (St. 7~11) with boulder and cobble bottoms and slow velocity, which the place inhabited by water plants. Meanwhile, their age structure in April estimated from total length indicated that the 30~43 mm group is 1 year old, the 48~58 mm group is 2 years old, the 62~77 mm group is 3 years old, and the 84~100 mm group is more than 4 years old. The sex ratio of female (47) to male (42) was 1 : 0.89.

**Key words:** Hwayangcheon Stream, Songnisan National Park, fish community structure, endangered species, *Pseudopungtungia tenuicorpa*, *Acheilognathus signifer*

\*Corresponding author: Myeong-Hun Ko Tel: 82-70-7370-6612,  
E-mail: [hun7146@gmail.com](mailto:hun7146@gmail.com)

## 서론

우리나라 하천에서 담수어류는 먹이사슬(food chain)의 상위소비자로서 생물다양성을 대표하고, 과거와 현재의 지질학적 혹은 생태적 조건 등의 상호작용에 따라 현재의 독특한 분포양상을 보이며, 크게 서한 아지역과 남한 아지역, 동북한 아지역으로 구분된다(Nishimura, 1974; Kim, 1997; Kim *et al.*, 2005; Yoo *et al.*, 2016). 또한 농경사회가 지속되면서 치수관리를 위한 보와 댐, 하구둑이 건설되고, 하천정비와 수해복구 등의 사업이 이루어졌으며 다양한 외래종들의 도입으로 인해 많은 교란이 있어 왔다(Jang *et al.*, 2006; Kwater, 2007; Ko *et al.*, 2008; MAFRA, 2010). 이로 인해 많은 어종이 멸종위기에 처한 것으로 보고되었다(NIBR, 2011; ME, 2017).

우리나라의 국립공원은 1967년 지리산국립공원을 처음으로 지정한 이후 지금까지 22개의 국립공원이 지정되어 관리되고 있으며, 경관이 수려할 뿐만 아니라 멸종위기종을 비롯한 다양한 동·식물이 서식하고 있어 생물의 보고로 여겨지고 있다. 국립공원에 서식하는 생물들의 서식과 변화 양상을 밝히기 위하여 지속적으로 공원자원조사와 자원모니터링 등이 이루어지고 있다(KNPS, 2019). 속리산국립공원은 1970년 여섯 번째 국립공원으로 지정되었으며 대표적으로 범주사와 화양계곡 등이 포함된다. 화양계곡이 포함되는 화양천(한강수계)은 청화산(해발 984 m)과 백악산(856 m)에서 발원하여 달천으로 유입되는 지방2급하천이고, 유역면적 105.79 Km<sup>2</sup>, 유로연장 18.6 km이며, 주요 지류로는 관평천 등이 있다(Kwater, 2007). 화양천의 상류 일부를 제외하고 모두 국립공원으로 지정되어 법적 보호를 받고 있으며, 화양계곡은 경관이 수려하고 멸종위기종 가는돌고기 *Pseudopungtungia tenuicarpa*와 묵납자루 *Acheilognathus signifer*가 서식하는 것이 보고되면서 주목을 받고 있다(KNPRI, 2003, 2011; Yun *et al.*, 2017). 가는돌고기와 묵납자루는 모두 한강에만 서식하는 한국고유종으로 2005년부터 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급으로 지정되어 현재까지 법적 보호를 받고 있는 종이다(ME, 2005, 2012, 2017).

지금까지 화양천의 어류 군집에 관한 연구는 자연자원조사(DI, 1993; KNPRI, 2003, 2011), 특별보호구역(화양계곡)의 생태조사(Yun *et al.*, 2017) 등의 일환으로 조사되었지만 화양천 전체를 아우르는 조사는 아직까지 이루어진 바 없다. 또한 이곳에 서식하는 것으로 알려진 멸종위기종 가는돌고기에 대한 연구는 보전학적 연구의 일환으로 분포, 개체군 생태, 유전자 분석, 인공증식기술 개발, 난발생 및 초기생활사 등의 연구가 이루어졌으며(MLTM, 2010, 2011, 2012; Ko *et al.*, 2012), 독특하게도 산란생태에 있어 꺾지의 산란장 주위에 산란을 하는 탁란과 틈새에 산란하는 번식전략에 대해 보고된 바 있다(Lee, 2011). 묵납자루에 관한 연구는 생태학적 연구(Baek, 2005), 보전학적 연구의 일환으로 인공증식기술개발, 유전자

분석, 치어 방류 및 모니터링(ME, 2010, 2011, 2012), 산란생태 및 산란숙주 조개의 선호도(Kim, 2014) 등에 대해 연구되었으며, 2019년 흑천에 방류한 묵납자루 치어는 성공적으로 적응·확산하여 서식하는 것이 보고되었다(Ko *et al.*, 2019a).

따라서 본 연구에서는 화양천 전체를 포괄하는 지점들을 선정하고 연 4회 조사를 실시하여 어류군집의 특징을 밝히고, 이곳에 서식하는 멸종위기어류 가는돌고기와 묵납자루의 서식양상과 서식지 특성, 연령구조 등의 생태특성을 밝히며, 아울러 화양천에 서식하는 어류의 보전방안에 대하여 논의하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사시기 및 조사지점

#### 1) 조사시기

현장조사는 어류현황을 파악하기 위해 결빙되는 겨울을 제외하고 4회 조사를 실시하였다.

1차 조사: 2018년 4월 12일~17일

2차 조사: 2018년 6월 29일~7월 5일

3차 조사: 2018년 8월 11일~13일

4차 조사: 2018년 10월 9~14일

#### 2) 조사지점

조사지점은 상류부터 하류까지 다양한 서식지가 포함될 수 있도록 2~4 km 간격으로 여울과 소가 포함된 11개 지점을 Fig. 1과 같이 선정하였으며 행정구역은 다음과 같다.

St. 1: 경상북도 상주시 화북면 입석리

(36°36'24.98"N, 127°53'48.17"E)

St. 2: 경상북도 상주시 화북면 입석리 옥양교

(36°37'43.80"N, 127°53'24.18"E)

St. 3: 충청북도 괴산군 청천면 삼송리 보

(36°39'0.37"N, 127°52'54.07"E)

St. 4: 경상북도 문경시 가은읍 완장리 완장제4교

(36°41'24.58"N, 127°55'36.31"E)

St. 5: 경상북도 문경시 가은읍 완장리 관평7교

(36°41'35.00"N, 127°53'53.34"E)

St. 6: 충청북도 괴산군 청천면 관평리 선유교

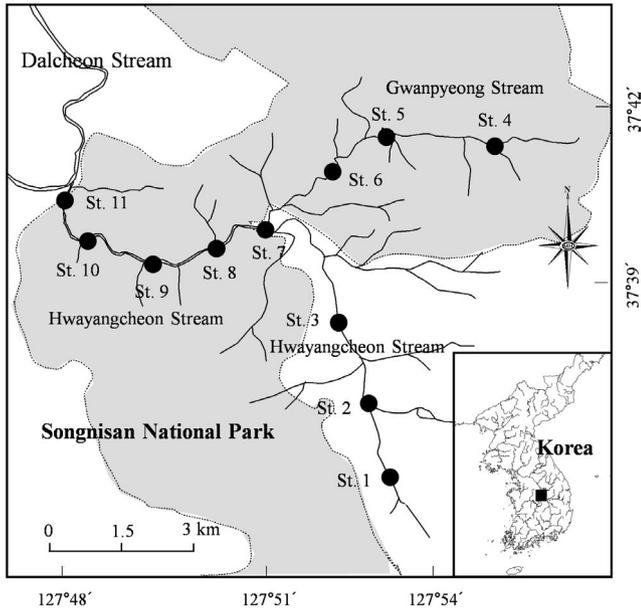
(36°41'0.25"N, 127°52'52.52"E)

St. 7: 충청북도 괴산군 청천면 송면리 합수부

(36°40'14.97"N, 127°51'40.24"E)

St. 8: 충청북도 괴산군 청천면 송면리 충청북도 자연학습원

(36°39'57.94"N, 127°50'44.52"E)



**Fig. 1.** The study stations of ichthyofauna in the Hwayangcheon Stream of Songnisan National Park (gray region), Korea, 2018.

- St. 9: 충청북도 괴산군 청천면 화양리 학소대  
(36°39'49.57"N, 127°49'26.40"E)
- St. 10: 충청북도 괴산군 청천면 화양리 화양2교  
(36°40'6.97"N, 127°48'26.90"E)
- St. 11: 충청북도 괴산군 청천면 화양리 화양제1교  
(36°40'47.64"N, 127°48'11.15"E)

**2. 조사방법**

**1) 서식지의 환경요인**

서식지의 물리적 환경요인은 하폭 및 유폭, 수심, 하상구조 등을 현장에서 조사하였고, 하폭 및 유폭을 정밀하게 측정하기 위하여 거리 측정용 망원경 (Yardage pro Tour XL, BUSHNELL, Japan)을, 수심은 줄자를 이용하였다. 하천형은 Kani (1944)에 따라, 하상구조는 Cummins (1962)의 방법을 응용하여 현장에서 육안으로 구분하였다. 수환경요인은 디지털온도계 (T-250A, ASAHI, Japan)와 수질측정기 (HI-9828, Romania)를 이용하여 기온과 수온, 전기전도도 (conductivity), 용존산소량 (DO%) 등을 조사하였다.

**2) 어류의 채집 및 분류**

어류의 채집은 속리산국립공원 관리사무소의 협조 하에 이루어졌으며, 멸종위기종의 포획은 원주지방환경청의 포획허가(제2018-5호)를 받은 후 실시하였다. 정량조사를 위하여 조사지점당 200 m 구간에서 하천규모에 따라 족대 (4×4 mm,

30분)와 투망(망목 6×6 mm, 10회)과 일각망(1개, 날개 길이 10 m, 망목 4×4 mm, 야간을 포함하여 12시간 정치)을 차등 적용하여 어류를 채집하였다. 채집된 어류는 현장에서 동정 후 바로 방류하였고, 채집된 어류는 Kim (1997)과 Kim *et al.* (2005), Kim and Park (2007)에 따라 동정하였으며, 분류체계는 Nelson (2006)을 따랐다.

**3) 군집분석 및 유사도 분석**

군집분석은 각 조사지점에서 출현한 종과 개체수를 기준으로 우점도와 다양도, 균등도, 풍부도를 산출하였으며 (Margalef, 1958; McNaughton, 1967; Pielou, 1969, 1975), 군집구조는 Primer 5.0 (PRIMER-E Ltd, UK)을 이용하여 Bray-Curtis 유사도를 계산한 후 도식화하였다.

**4) 하천건강성평가**

조사지점들의 건강성은 시기별, 지점별로 채집된 어류 결과를 우리나라 하천건강성평가를 위해 개발된 모델 (IBI)을 이용하여 하천차수 (stream order)에 따라 8개의 메트릭 (M1: 국내종의 총 종수, M2: 여울성 저서종수, M3: 민감종수, M4: 내성종의 개체수 비율, M5: 잡식종의 개체수 비율, M6: 국내종의 총식종 개체수 비율, M7: 채집된 국내종의 총 개체수, M8: 비정상종의 개체수 비율)별로 값을 계산한 후 합산하여 어류생물지수 (FAI)를 산출하였다. 시기별 (4회)로 산출된 어류생물지수는 평균값을 계산한 후 매우 좋음 (A, 80~100), 좋음 (B, 60~80), 보통 (C, 40~60), 나쁨 (D, 20~40), 매우 나쁨 (0~20)으로 등급을 구분하였다 (NIER, 2016).

**5) 목납자루와 가는돌고기의 서식상황**

목납자루와 가는돌고기의 서식상황은 어류상 조사에서 채집된 개체와 같은 기간에 실시된 추가조사에 채집된 개체를 근거로 하였으며, 확보된 개체를 마취제 (MS-222)로 마취한 후 전장과 성별 등을 조사한 후 바로 방류하였다. 채집시기별로 채집된 개체는 Ricker (1971)에 따라 전장빈도분포도를 작성하여 성장도와 연령을 추정하였다. 또한 채집된 개체들은 치어, 암컷, 수컷으로 구분하여 성비를 계산하고  $\chi^2$  검정을 통하여 성비 1:1 유의성을 확인하였다.

**결 과**

**1. 어류군집**

**1) 서식지 환경**

화양천은 주위에 높은 산으로 둘러싸여 있으며 하천 중·상류의 일부만이 하천 주변에 농경지가 형성되어 있었다. 하천

차수(stream order)는 1~4차로 구성되어 있었는데, 중·상류인 St. 1~6은 1~3차 하천이고 St. 7~11은 4차 하천이었다. 유향은 최상류인 St. 1과 St. 4가 5~10 m로 가장 좁았으며, 중·상류 St. 2~3, 5~6은 10~50 m, 중·하류 St. 7~11은 40~70 m였다. 하천형은 최상류인 St. 1과 St. 4, 중·하류인 St. 8~10은 계곡형(Aa type)이었고 그 외의 지점들은 평지-계곡형(Aa-Bb type), 또는 평지형(Bb type)이었다. 수심은 0.3~1.5 m로 비교적 지점 간 큰 차이는 없었고, 하상은 계곡형에서는 큰돌(boulder)과 돌(cobble)의 비율이 높았고 그 외 지점에서는 돌과 큰돌, 모래(sand), 자갈(pebble), 잔자갈(gravel) 등이 순으로 높게 나타났다. 보가 설치된 지점은 St. 3, 4, 6이었으며 어도는 없었고, St. 1과 St. 7은 하천공사가 진행되었거나 진행 중에 있어 서식지가 교란되었다. St. 8, 10, 11은 여름철에 물놀이 피서객이 많이 유입되고 있었는데, 특히 St. 11의 화양일교 아래는 피서객을 위해 하천이 물놀이 공간으로 변형되면서 어류 서식지가 크게 교란되었다. 묵납자루의 산란조개인 작은말조개 *Unio douglasiae sinuolatus*는 화양천 중·하류(St. 7~11)에서만 서식이 확인되었다(Table 1).

화양천은 전체적으로 물이 맑았으며 큰 오염원은 발견되지 않았다. 연구기간 중 지점 간 수환경은 큰 차이를 보이지 않았지만, 하천공사가 진행되었던 St. 7은 갈수기에 다른 지점에 비해 전기전도도와 염도가 높게 나타났다. 계절에 따른 수환경 변화에서 전기전도도는 갈수기인 6월은 100~160  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 로 높게 나타나고 그 외 기간은 80  $\mu\text{s}/\text{cm}$  이하로 낮았으며, 염도 또한 갈수기인 6월에 0.05~0.07‰ 높았으나 그 외 기간은 0.03~0.05‰로 낮은 편이었다. 용존산소량(DO)은 8월에 5~7 mg/L로 낮았으나 4월과 10월은 10~13 mg/L로 높았다. pH는 6.7~7.4로 계절과 관계없이 어류가 서식하기에 적합한 상태였다(Table 1).

2) 어류상

화양천의 11개 지점에서 2018년 4월부터 10월까지 2개월 간격으로 4회 조사를 실시한 결과(Table 2) 8과 29종 5,378개체가 채집되었다. 분류군별로는 잉어과 19종, 미꾸리과(Cobitidae) 3종, 동사리과(Odontobutidae) 2종, 동자개과(Bagridae)와 메기과(Siluridae), 통가리과(Amblycipitidae), 꺾기과(Centropomidae), 망둑어과(Gobiidae)는 1종씩 출현하였고. 우점종은 참갈겨니 *Zacco koreanus* (38.81%), 아우점종은 버들치 *Rhynchocypris oxycephalus* (16.64%), 그 다음으로 피라미 *Z. platypus* (14.28%), 돌고기 *Pungtungia herzi* (6.92%), 참마자 *Hemibarbus longirostris* (4.52%), 모래무지 *Pseudogobio esocinus* (3.51%), 묵납자루 (2.31%), 가늌돌고기 (1.9%) 배가사리 *Microphysogobio longidorsalis* (1.56%), 꺾기 *Coreoperca herzi* (1.51%), 눈동자개 *Pseudobagrus koreanus* (1.08%) 등의 순으로 우세하였다. 환경부지정 멸

Table 1. Physical characteristics and hydrological environments at the study stations in the Hwayangcheon Stream of Songnisan National Park, Korea, 2018

St.	River width (m)	Water width (m)	Water depth (m)	River type*	Stream order**	Bottom structure (%)***			Water temperature (°C)†			Conductivity ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )			Salinity (‰)			DO (mg/L)			pH			Etes##							
						M	S	G	P	C	B	A	J	A	O	A	J	A	O	A	J	A	O		A	J	A	O			
1	20~22	5~10	0.3~1.0	Aa	1	10	10	20	30	40	8.0	23.4	22.3	16.0	63	90	70	75	0.03	0.05	0.03	0.04	10.5	7.1	7.0	9.1	7.2	6.9	7.0	7.0	RW
2	40~50	20~25	0.3~1.2	Aa~Bb	2	10	10	10	30	40	8.1	23.5	24.5	16.4	68	92	75	78	0.03	0.05	0.04	0.04	12.5	6.8	6.5	7.8	7.3	6.9	7.0	6.8	
3	50~60	30~50	0.3~1.2	Bb	3	60	10	20	10	20	8.2	24.1	24.6	16.3	69	105	81	74	0.03	0.06	0.03	0.04	11.5	7.7	7.0	8.7	7.4	6.9	6.9	7.1	W
4	20~25	5~10	0.3~0.8	Aa	1	30	20	10	20	20	9.3	24.2	25.0	16.1	53	85	80	84	0.03	0.05	0.04	0.04	12.5	7.2	6.9	9.2	7.4	6.8	6.9	7.1	W
5	40~50	10~30	0.3~1.2	Aa~Bb	2	30	10	20	40	9.3	24.4	25.3	16.1	77	125	85	96	0.04	0.07	0.04	0.04	10.9	7.7	6.7	8.8	7.3	6.8	7.0	7.2	7	
6	30~40	20~30	0.3~1.2	Bb	2	40	10	20	20	7.7	24.6	25.0	15.2	69	128	80	75	0.04	0.07	0.04	0.03	10.9	7.4	7.1	8.7	7.5	6.7	6.7	7.3	W	
7	70~80	40~60	0.3~1.5	Bb	4	20	10	10	30	30	8.2	24.6	24.7	16.8	72	162	81	87	0.03	0.08	0.05	0.04	11.5	5.8	6.0	7.3	7.4	6.7	6.8	7.1	RW
8	60~80	40~50	0.5~1.5	Aa	4	20	10	20	70	8.2	26.0	24.5	15.8	75	153	83	83	0.04	0.07	0.03	0.04	12.5	5.8	6.0	8.5	7.4	6.7	6.8	7.0	A	
9	60~80	50~60	0.5~1.5	Aa	4	20	10	60	8.2	23.2	25.0	15.4	59	145	82	81	0.03	0.07	0.04	0.04	10.6	6.3	6.2	7.3	7.4	6.8	6.7	6.9	A		
10	70~90	40~70	0.5~2.0	Aa	4	10	20	70	9.1	24.4	25.5	15.3	59	143	81	82	0.03	0.07	0.04	0.04	12.9	6.6	6.2	8.5	7.3	6.8	6.8	6.9	A		
11	80~100	40~60	0.5~1.5	Aa~Bb	4	10	10	20	60	9.8	26.2	27.4	15.2	58	141	84	82	0.03	0.07	0.04	0.04	12.2	6.3	6.5	7.3	7.0	6.7	6.8	7.0	A	

\*River type: by Kani (1944). \*\*Scale 1: 12000. \*\*\*M: Mud (~0.1 mm), S: Sand (0.1~2 mm), G: Gravel (2~16 mm), P: Pebble (16~64 mm), C: Cobble (64~256 mm), B: Boulder (256~mm)-modified Cummins (1962), A: April, J: June, A: August, O: October, ##W: weir, RW: river work, A: amusement park

**Table 2.** List of fish species and number of fish collected in the Hwayangcheon Stream of Songnisan National Park, Korea from April to October 2018

Scientific name	Stations											Total	RA (%)*	Etc**	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
<b>Cyprinidae</b>															
<i>Carassius auratus</i>												1	1	0.02	
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>								9		4	8	15	36	0.67	
<i>Acheilognathus signifer</i>								20	16	14	54	20	124	2.31	E,EN
<i>Acheilognathus yamatsutae</i>											1	7	8	0.15	E
<i>Pungtungia herzi</i>			21		21	66	26	62	42	51	83	372	6.92		
<i>Pseudopungtungia tenuicorpa</i>								7	2	55	38	102	1.90	E,EN	
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>					5		2	12	3		5	27	0.50	E	
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>												1	1	0.02	E
<i>Squalidus gracilis majimae</i>											14	9	23	0.43	E
<i>Hemibarbus labeo</i>										2	8	16	26	0.48	
<i>Hemibarbus longirostris</i>			3			7	26	38	60	54	55	243	4.52		
<i>Pseudogobio esocinus</i>			24		3	12	8	8	30	23	81	189	3.51		
<i>Gobiobotia brevibarba</i>												20	20	0.37	E,EN
<i>Microphysogobio yaluensis</i>									30	31	16	48	125	2.32	E
<i>Microphysogobio longidorsalis</i>										9	30	45	84	1.56	E
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	472	124	5	156	120	13					5	895	16.64		
<i>Zacco koreanus</i>	255	206	192	61	222	213	219	151	210	129	229	2,087	38.81	E	
<i>Zacco platypus</i>			54				101	35	7	179	392	768	14.28		
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>											5	4	9	0.17	
<b>Cobitidae</b>															
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>						1						1	0.02		
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>											1	10	11	0.20	E
<i>Iksookimia koreensis</i>						2	4	1	8	3	8	26	0.48	E	
<b>Bagridae</b>															
<i>Pseudobagrus koreanus</i>									6	11	19	22	58	1.08	E
<b>Siluridae</b>															
<i>Silurus microdorsalis</i>		1					1					2	0.04	E	
<b>Amblycipitidae</b>															
<i>Liobagrus andersoni</i>												3	3	0.06	E
<b>Centropomidae</b>															
<i>Coreoperca herzi</i>		8	8		3	3	4	9	14	15	17	81	1.51	E	
<b>Odontobutidae</b>															
<i>Odontobutis platycephala</i>							3			1	5	9	0.17	E	
<i>Odontobutis interrupta</i>		1			1		1	1			1	5	0.09	E	
<b>Gobiidae</b>															
<i>Rhinogobius brunneus</i>											15	27	42	0.78	L
Number of species	2	5	7	2	7	8	13	13	15	21	26	29			
Number of individuals	727	340	307	217	375	317	424	376	447	686	1,162	5,378			

\*RA: Relative abundance (%), \*\*E: Korea endemic species, En: Endangered species II, L: Land-locked form

종위기 야생생물은 II급의 목납자루와 가는돌고기, 돌상어 *Gobiobotia brevibarba* 3종이, 한국고유종은 18종 (62.1%)이 채집되었으며, 외래종은 서식하지 않았다. 지점별 종수는 상류에서 하류로 갈수록 급격한 증가를 보였는데, St. 1과 St. 4가 2종으로 가장 적었고 St. 11이 26종으로 가장 많았다. 개체수도 St. 2~9는 200~450개체, St. 10은 686개체, St. 11은 1,162개체 등 대체로 상류에서 하류로 갈수록 증가하는 경향을 보였다.

조사지점들은 군집구조에서 상류와 중·상류, 중류, 하류로 구분되었고 (Fig. 3), 이들의 종 구성은 Fig. 2와 같이 나타났다.

상류 (St. 1~2, 4~5)는 4과 8종 1,659개체가 채집되었고, 우점종은 버들치 (52.56%), 아우점종은 참갈겨니 (44.85%)였으며, 그 다음은 돌고기 (1.27%), 꺾지 (0.66%), 쉬리 *Coreoleuciscus splendidus* (0.30%) 등의 순이었다. 중·상류 (St. 3, 6)는 3과 9종 624개체가 채집되었고, 우점종은 참갈겨니 (64.90%), 아우점종은 돌고기 (13.94%)였으며, 그 다음으로 피라미 (8.65%), 모래무지 (5.77%), 버들치 (2.88%), 꺾지 (1.76%) 등의 순으로 우세하였다. 중류 (St. 7~9)는 6과 17종 1,247개체가 채집되었고, 우점종은 참갈겨니 (46.51%), 아우점종은 피라미 (11.47%)였으며, 그 다음으로 돌고기 (10.43%), 참마자 (9.94%), 돌마

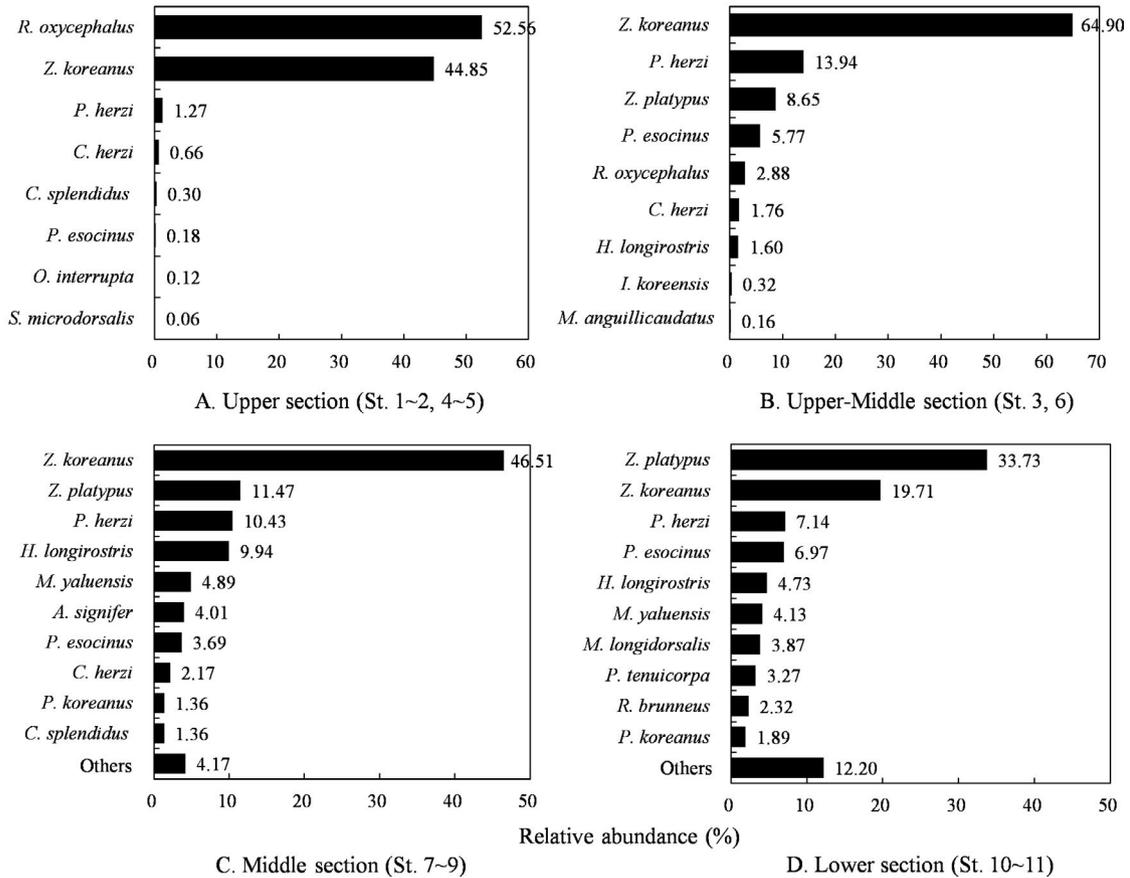


Fig. 2. Relative abundance of the fish species found according to section in the Hwayangcheon Stream of Songnisan National Park, Korea from April to October 2018.

Table 3. Community indices at each station in the Hwayangcheon Stream of Songnisan National Park, Korea from April to October 2018

Indices	Stations										
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9	St. 10	St. 11
Dominance	1.00	0.97	0.80	1.00	0.91	0.88	0.75	0.57	0.60	0.45	0.53
Diversity	0.65	0.79	1.19	0.59	0.99	1.03	1.50	1.91	1.86	2.37	2.30
Evenness	0.93	0.49	0.61	0.86	0.51	0.49	0.59	0.74	0.69	0.78	0.71
Richness	0.15	0.69	1.05	0.19	1.01	1.22	1.98	2.02	2.29	3.06	3.54

자 *Microphysogobio yaluensis* (4.89%), 묵납자루 (4.01%), 모래무지 (3.69%) 등의 순으로 우세하였다. 하류 (St. 10~11)은 7과 25종 1,162개체가 채집되었고, 우점종은 피라미 (33.73%), 아우점종은 참갈겨니 (19.71%)였으며, 그 다음으로 돌고기 (7.14%), 모래무지 (6.97%), 참마자 (4.73%), 돌마자 (4.13%), 배가사리 (3.87%) 등의 순으로 우세하였다.

3) 군집분석 및 유사도 분석

지점별 우점종은 최상류인 St. 1과 St. 4에서 버들치였고, 상류인 St. 2~3, 5~9에서 참갈겨니, 하류인 St. 10~11은 피라

미로 나타났다. 우점도 지수 (dominance index)는 최상류 또는 상류지점인 St. 1~6까지 0.8~1.0으로 높았으나 중·하류 지점인 St. 7~11은 0.45~0.75로 비교적 낮게 나타났다. 이와는 반대로 다양도 지수 (diversity index)와 풍부도 지수 (richness index)는 상류지점에서 하류지점으로 갈수록 높게 나타나는 양상을 보였다. 균등도 지수 (evenness index)는 St. 1이 0.93으로 가장 높았고 St. 2와 St. 6이 0.49로 가장 낮았으며 나머지 지점들은 0.51~0.86의 값들을 보였다 (Table 3). 출현종과 개체수를 근거로 유사도 분석을 실시한 결과 (Fig. 3), 상류 (St. 1~2, 4~5), 중·상류 (St. 3, 6), 중류 (St. 7~9), 하류 (St. 10~11)

로 구분되었는데, 이 중 중·상류와 중류, 하류가 가깝게 묶였다.

4) 하천건강성평가

각 조사지점들의 하천건강성 생물보전지수(IBM)를 하천차수에 따라 8개의 메트릭으로 나누어 평가한 후 어류생물지수(FAI)를 계산한 결과 Table 4와 같이 나타났다. 하천차수는 1~4차 하천이었는데, 내성종의 개체수 비율(M4)과 국내종의 충식종 개체수 비율(M6), 비정상종의 개체수 비율(M8)은 모든 지점에서 최고치를 받았고, 잡식종의 개체수 비율(M5)은 St. 7, 10~11를 제외한 지점에서 최고치를 받았다. 또한 국내종의 총 종수(M1)와 여울성 저서종수(M2), 민감종수(M3)는 상류에서 하류로 갈수록 높아지는 경향을 보였다. 8개의 메

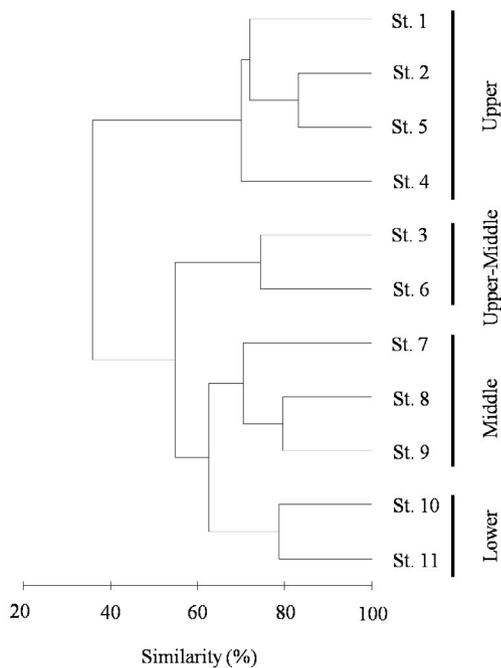


Fig. 3. Dendrogram for the cluster analysis based on similarity index of the fish species found among the study stations in the Hwayangcheon Stream of Songnisan National Park, Korea, 2018.

트릭 점수의 합계인 어류생물지수(FAI)는 중·하류지점인 St. 9~11이 84.4~92.2로 ‘매우 좋음’으로 평가되었고 중·상류지점인 St. 1~8은 67.2~79.7로 ‘좋음’으로 평가되었다.

2. 멸종위기종 서식양상

1) 가는돌고기

화양천에서 멸종위기종 가는돌고기는 중·하류 수역인 St. 8~11에서 채집되었는데, 특히 하류인 St. 10~11에서 많은 개체가 서식하고 있었다. 가는돌고기가 서식하는 곳은 큰돌과 암반이 있는 소로 유속은 느리고 수심 50~120 cm인 곳에 무리를 지어 서식하고 있었다. 4월부터 10월까지 2달 간격으로 전장빈도분포를 조사한 결과(Fig. 4), 당해 년도에 태어난 치어는 6월에 처음 채집되었으며 전장 22~36 mm였고, 8월 32~57 mm, 10월 44~61 mm로 성장하였다. 4월의 첫 번째 피크 무리인 전장 44~61 mm는 10월에 채집된 당년생 치어의 크기와 거의 동일하게 나타나, 이 무리는 전년도에 태어난 당년생 치어가 월동을 거친 개체들이고 4월이 산란기인 점으로 볼 때 만 1년생으로 추정되었다. 이러한 성장패턴을 근거로 4월에 채집된 두 번째 피크 그룹인 전장 66~81 mm는 만 2년생, 세 번째 그룹인 전장 88~99 mm는 만 3년생, 전장 104~107 mm는 만 4년생 이상으로 추정되었다. 가는돌고기는 산란기를 제외하고 암·수 구별은 어려웠으며, 조사기간 동안 치어 89개체, 성어 246개체로 구분되었다.

2) 묵납자루

멸종위기종 묵납자루는 중·하류 수역인 St. 7~11에서 채집되었으며, St. 10이 54개체로 가장 많이 채집되었으며 그 외 지점들은 14~20개체로 비교적 고루 분포하는 경향을 보였다. 묵납자루가 서식하는 곳은 대부분 달뿌리풀 *Phragmites japonica*과 갯버들류(pussy willow)가 있는 수변부나 큰돌 아래였다. 4월부터 10월까지 2달 간격으로 전장빈도분포를 조사한 결과(Fig. 5), 당해 년도에 태어난 치어는 6월에 처음 채집되었으며 전장 20~30 mm였고, 8월 22~45 mm, 10월 32~47

Table 4. Index of Biological Integrity (IBI) in the Hwayangcheon Stream of Songnisan National Park, Korea from April to October 2018

Parameter	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9	St. 10	St. 11
M1. Total number of native fish species	7.8	6.3	4.7	4.7	6.3	7.8	6.3	4.7	7.8	10.9	12.5
M2. Number of riffle benthic species	-	3.1	-	-	3.1	-	1.6	4.7	7.8	9.4	12.5
M3. Number of sensitive species	6.3	9.4	4.7	6.3	7.8	6.3	7.8	7.8	9.4	12.5	12.5
M4. Proportion of individuals as tolerant species	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
M5. Proportion of individuals as omnivores	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	9.4	12.5	12.5	7.8	6.3
M6. Proportion of individuals as native insectivores	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
M7. Total number of individuals	12.5	10.9	7.8	9.4	9.4	9.4	7.8	6.3	9.4	10.9	10.9
M8. Proportion of abnormal individuals	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
Total (grade)	76.6 (B)	79.7 (B)	67.2 (B)	70.3 (B)	76.6 (B)	73.4 (B)	70.3 (B)	73.4 (B)	84.4 (A)	89.1 (A)	92.2 (A)

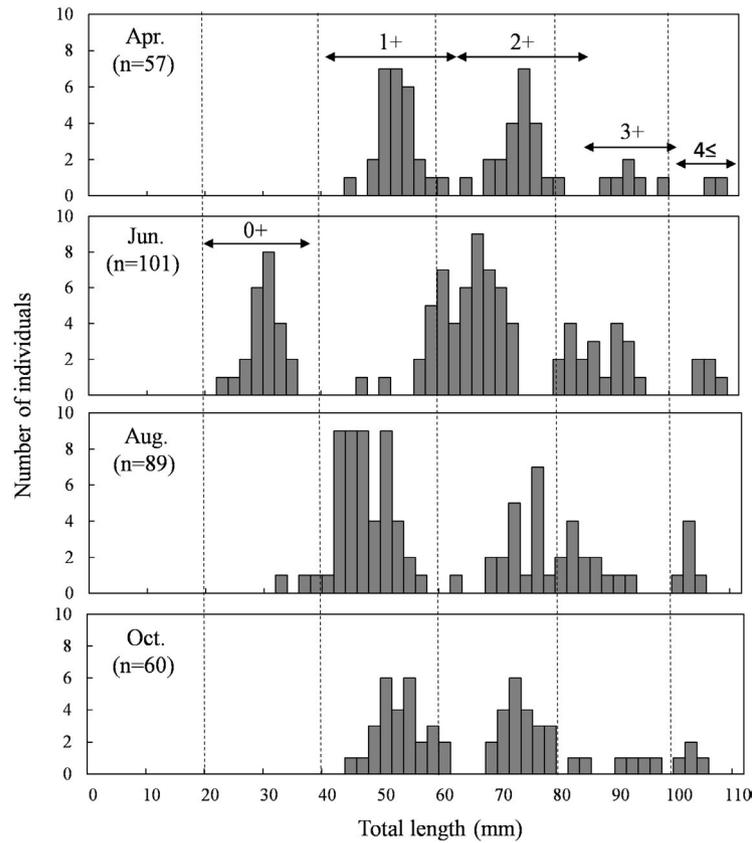


Fig. 4. Total length frequency distribution of *Pseudopungtungia tenuicorpa* in Hwayangcheon Stream of Songnisan National Park, Korea from April to October 2018.

mm로 성장하였다. 4월의 첫 번째 피크 무리는 전장 30~43 mm로 10월에 채집된 당년생 치어의 크기와 거의 동일하게 나타나, 이 무리는 전년도에 태어난 당년생 치어가 월동을 거친 개체들이고 4월이 산란기인 점으로 볼 때 만 1년생으로 추정되었다. 이러한 성장패턴을 근거로 4월에 채집된 두 번째 피크 그룹인 전장 48~58 mm는 만 2년생, 세 번째 그룹인 전장 62~77 mm는 만 3년생, 전장 84~100 mm는 만 4년생 이상으로 추정되었다. 묵납자루는 만 1년이 지나면서 암컷에게서 산란관이 나와 암·수가 구별되었으며, 조사기간 동안 치어 56개체, 암컷 47개체, 수컷 42개체가 채집되어 성비(♂/♀)는 0.89였으며 암·수 간에 유의한 차이는 보이지 않았다( $P < 0.05$ ).

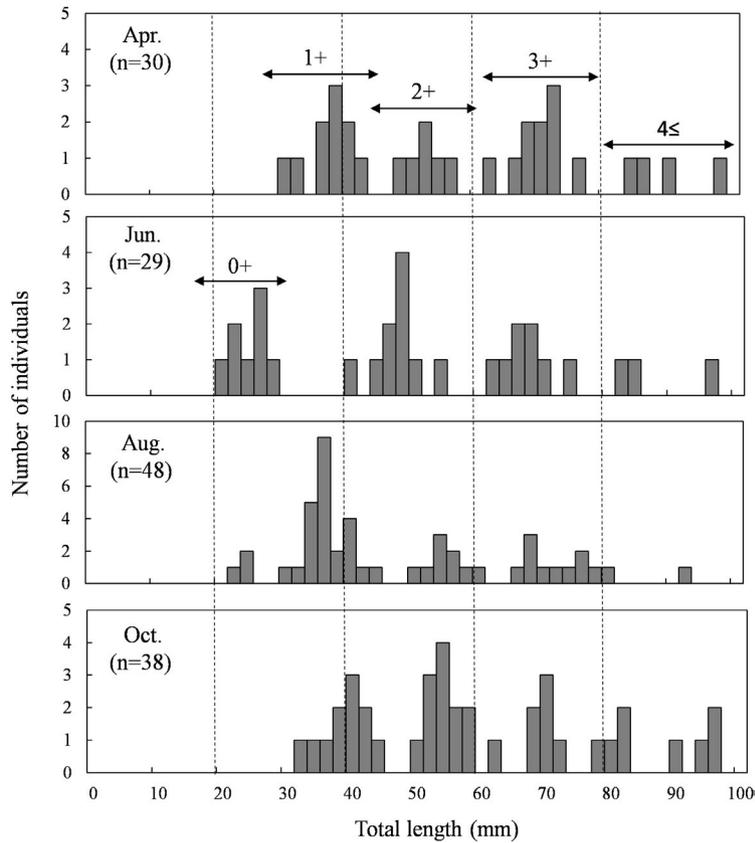
### 3) 돌상어

멸종위기종 돌상어는 하류인 St. 11에서만 20개체가 채집되어 서식 폭이 매우 좁았다. 돌상어는 유속이 빠르고 수심이 10~30 cm이며 돌과 큰돌이 쌓여 있는 빠른 여울부에서만 채집되었다. 채집된 개체수가 적어 연령추정은 불가능하였으며, 암·수 간의 성적 이형도 보이지 않았다.

## 고찰

화양천의 어류상에 관한 연구는 같이 속리산국립공원의 자연자원조사의 일환으로 2003년 5과 20종(KNPRI, 2003), 2011년 5과 22종(KNPRI, 2011), 그리고 특별모니터링(화양계곡) 생태조사의 일환으로 2017년 3과 11종(Yun *et al.*, 2017)이 보고되었다(Table 5). 본 조사에서는 8과 29종이 채집되어 선행 연구들보다 7~18종이 더 많았다. 본 조사에서 과거 조사보다 많은 종수가 채집된 원인은 본 조사가 상류부터 하류까지 광범위하게 지점을 선정하고 조사도 4회 실시하였으며 조사방법에 있어서도 기존 조사방법인 투망과 족대뿐만 아니라 일각망을 추가하여 조사하였기 때문으로 판단된다. 특히 일각망 조사는 야행성과 저서성, 납자루아과(Acheilognathinae) 어류 등을 보다 많이 채집할 수 있는 것으로 알려져 있다(IFRI, 2013; Ko *et al.*, 2019b).

선행 조사에 출현하였으나 본 조사에 채집되지 않은 종은 칼납자루 *A. korensis*와 왜매치 *Abbottina springeri*, 납지리 *A. rhombus* 3종이었으며, 새롭게 서식이 확인된 종은 긴물개, 미유기 *Silurus microdorsalis*, 통가리 *Liobagrus andersoni*, 눈동



**Fig. 5.** Total length frequency distribution of *Acheilognathus signifer* in Hwayangcheon Stream of Songnisan National Park, Korea from April to October 2018.

자개 4종이었다. 이 중 칼납자루는 우리나라 한강 아래의 하천인 금강과 섬진강, 탐진강, 낙동강 등에 서식하는 종으로 알려져 있어 (Kim, 1997; Kim *et al.*, 2005; Kim and Park, 2007) 묵납자루를 오동정한 것으로 추정되며, 왜매치와 납지리는 2003년 화양천 하류부에 채집된 이후 2011년도와 2017년, 본 조사 모두 서식이 확인되지 않아 달천 본류로 이동하였거나 소멸한 것으로 추정된다. 본 조사에서 새롭게 확인된 미유기와 통가리, 눈동자개는 큰돌 아래에 서식하는 저서성 어류로 서식 개체수가 많지 않기 때문에 과거에 채집되지 않은 것으로 추정되며, 긴물개는 화양천 하류에만 서식이 확인되고 있어 달천에서 소상하였거나 과거에 적은 개체만이 서식하고 있어 채집되지 않은 것으로 추정된다.

화양천은 상류에서 하류로 갈수록 우점도는 낮아지고 종수와 다양도와 풍부도는 높아지는 경향을 보였는데, 이러한 현상은 우리나라 소형하천에서 일어나는 일반적 현상으로 (Chae *et al.*, 2014, 2015; Ko *et al.*, 2014, 2019b), 상류에서 하류로 갈수록 하천차수가 증가하면서 (1 → 4차) 유폭이 넓어지고 서식지가 다양해졌기 때문으로 판단된다. 하천건강성평가에서도 화양천은 좋음 또는 매우좋음으로 나타나 전체적으로 양호한

것으로 나타났다. 특히 화양천 하류부 (St. 9~11)는 15~26종이 서식하고 다양도와 풍부도가 각각 1.86~2.37, 2.29~3.54로 매우 높으며 하천건강성평가도 매우좋음으로 나타났으며 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급으로 지정된 가는돌고기와 묵납자루, 돌상어가 다수 서식하고 있어 주목되었다. 이렇게 다양한 어류의 서식이 가능한 것은 이 지역이 국립공원지역으로 어류 포획과 하천 교한 행위가 금지되어 있고 암반지대와 수초가 있는 수변부와 다양한 하상구조가 나타나는 등 다양한 어류 서식지가 있으며 달천 본류와 인접해 있어 달천에서 누치와 끄리 등의 어류가 소상도 하기 때문으로 판단된다.

멸종위기종 가는돌고기는 한강 수계인 임진강과 한강의 중·상류에 넓게 서식하는 종이지만 (Kim and Park, 2007) 한강지류 달천에서는 서식개체수가 많지 않았었는데 (Hur *et al.*, 2011; IFRI, 2013), 본 조사를 통해 화양천의 St. 8~11에 서식하고 있으며 특히 St. 10~11에 집단으로 서식하고 있어 주목되었다. 가는돌고기는 주로 자갈과 돌이 있는 여울부에 서식하는 것으로 보고되었으나 (Kim, 1997; Kim and Park, 2007), 본 조사에서는 주로 암반과 큰돌이 많은 소에 서식하고 있어 차이를 보였다. 가는돌고기의 개체군 생태는 홍천강 (중방

**Table 5.** Historical record of ichthyofauna in the Hwayangcheon Stream of Songnisan National Park, Korea from April to October 2018

Scientific name and survey methods	KNPRI (2003)	KNPRI (2011)	Yun <i>et al.</i> (2017)	Presnet study	Etc.*
Survey tools**	K, C	K, C	K, C	K, C, L	
Number of surveys	1	1	2	4	
Number of survey stations	8	12	9	11	
<b>Cyprinidae</b>					
<i>Carassius auratus</i>	1			1	
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	5	3		36	
<i>Acheilognathus koreensis</i>	5	7			E,
<i>Acheilognathus signifer</i>		10	17	124	E,EN
<i>Acheilognathus yamatsutae</i>	12			8	E
<i>Acheilognathus rhombeus</i>	13				
<i>Pungtungia herzi</i>	16	30		372	
<i>Pseudopungtungia tenuicorpa</i>		11	10	102	E,EN
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	2	6		27	E
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>	1			1	E
<i>Squalidus gracilis majimae</i>				23	E
<i>Hemibarbus labeo</i>			2	26	
<i>Hemibarbus longirostris</i>	30	12	19	243	
<i>Pseudogobio esocinus</i>	41	17	31	189	
<i>Abbottina springeri</i>	2				E
<i>Gobiobotia brevibarba</i>		9		20	E,EN
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	11	8		125	E
<i>Microphysogobio longidorsalis</i>	4	26	36	84	E
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	4	4		895	
<i>Zacco koreanus</i>	294	347	1,325	2,087	E
<i>Zacco platypus</i>	53	28	17	768	
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>		1		9	
<b>Cobitidae</b>					
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>		2		1	
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>		1		11	E
<i>Iksookimia koreensis</i>	3	5		26	E
<b>Bagridae</b>					
<i>Pseudobagrus koreanus</i>				58	E
<b>Siluridae</b>					
<i>Silurus microdorsalis</i>				2	E
<b>Amblycipitidae</b>					
<i>Liobagrus andersoni</i>				3	E
<b>Centropomidae</b>					
<i>Coreoperca herzi</i>	7	23	27	81	E
<b>Odontobutidae</b>					
<i>Odontobutis platycephala</i>		3	25	9	E
<i>Odontobutis interrupta</i>	3	2		5	E
<b>Gobiidae</b>					
<i>Rhinogobius brunneus</i>	9	7		42	L
Number of family	5	5	3	8	
Number of species	20	22	11	29	
Number of individuals	516	562	1,509	5,378	

\*E: Korea endemic species, En: Endangered species II, L: Land-locked form; \*\*K: kick nets, C: cast nets, L: long bag set nets

대천)에서 연구된 바 있는데, 이 중 연령은 5월을 기준으로 35~52 mm는 만 1년생, 55~66 mm는 만 2년생, 67~80 mm는 만 3년생 이상으로 추정된 바 있어(MLTM, 2010) 본 결과와 비교적 유사하였으나 본 결과가 연령구분이 보다 뚜렷하고 만 4년생 이상까지 추정되어 일부 차이를 보였다. 화양천 집단의 연령구성의 비율은 대체적으로 당년생, 1년생, 2년생, 3년생 등의 순으로 연령이 어린 집단일수록 개체수가 많았고 연령이

증가하면서 개체수 비율이 점점 감소하는 것으로 나타나 안정적인 집단으로 평가되었다.

화양천에 서식하는 또 다른 멸종위기종 묵납자루는 한강 수계인 한강과 임진강 중·상류에 넓게 서식하는 종으로 알려져 있고(Baek, 2005; Kim, 2014), 달천에서도 상류부터 하류까지 비교적 넓게 분포하는 종으로 보고된 바 있으며(Hur *et al.*, 2011; IFRI, 2013), 본 조사 결과 화양천에서는 St. 7~11

인 중·하류 지역에 넓게 서식하고 있었다. 묵납자루는 석패과(Unionidae)에 속하는 조개인 작은말조개 *Unio douglasiae sinuolatus*와 꺾개목 두드럭조개 *Lamprotula leai* 등을 산란숙주로 이용하는 것으로 보고되었으며, 큰돌이나 돌이 깔려있는 유속이 느린 소에 주로 서식하는 것으로 보고된 바 있다 (Baek, 2005; Kim, 2014). 화양천 하류부에서 산란숙주 조개는 작은말조개만이 관찰되었고, 유속이 느리고 큰돌과 암반이 있으며 수변부에 달뿌리풀과 갯버들류가 서식하고 있는 소에 주로 서식하여 이전 보고와 비교적 유사하였다. 묵납자루의 연령은 홍천강 집단에서 비늘을 통해 만 1년생 암컷은 체장 33.35(수컷 38.96) mm, 만 2년생 39.87(수컷 47.24) mm, 만 3년생 43.34(수컷 53.80) mm, 만 4년생 49.92(수컷 59.00) mm로 보고된 바 있고 (Baek, 2005), 흑천집단에서는 4월을 기준으로 전장 32~43 mm는 만 1년생, 50~61 mm는 만 2년생, 62~75 mm는 만 3년생, 76~89 mm는 만 4년생 이상으로 보고되어 (Ko et al., 2019b) 비교적 화양천 집단의 연령별 크기는 흑천집단과 유사하였다. 화양천 집단의 연령구성의 비율은 비교적 당년생, 1년생, 2년생, 3년생 등의 순으로 연령이 작을수록 개체수가 많아 안정적인 집단으로 평가되었다.

화양천의 중·하류부(St. 8~10)는 속리산국립공원으로 보호받고 있어 생태계가 비교적 잘 유지되고 있었다. 하지만 화양천 St. 1과 St. 7은 하천공사가 진행되고 있어 서식지 교란이 일어나고 있었고, 중·하류(St. 8~11)는 여름철에 많은 피서객이 하천으로 유입되어 서식지 교란의 원인으로 추정되었으며, St. 11은 물놀이를 위해 하천이 인위적으로 변경되고 많은 피서객의 유입으로 크게 서식지 교란이 일어나고 있었다. 따라서 화양천의 안정적인 어류 서식을 위해서는 하천공사와 물놀이를 위한 하천변경 등은 반드시 지양하여야 하고 여름철 피서객에 의해 서식지 교란이 되지 않도록 많은 홍보와 지도가 필요하다고 판단된다.

## 요 약

속리산국립공원 화양천의 어류군집과 멸종위기종 가는돌고기 *Pseudopungtungia tenuicarpa*와 묵납자루 *Acheilognathus signifer*의 서식현황을 밝히기 위해 2018년 4월부터 10월까지 조사를 실시하였다. 조사기간 동안 11개 지점에서 족대와 투망을 사용하여 채집한 어류는 8과 29종이었다. 우점종은 참갈겨니 *Zacco koreanus* (38.81%), 아우점종은 버들치 *Rhynchocypris oxycephalus* (16.64%), 그 다음으로 피라미 *Z. platypus* (14.28%)와 돌고기 *Pungtungia herzi* (6.92%), 참마자 *Hemibarbus longirostris* (4.52%), 모래무지 *Pseudogobio esocinus* (3.51%), 묵납자루 (2.31%), 가는돌고기 (1.90%) 등의 순으로 우세하였다. 한국고유종은 18종 (62.1%)이 출현하였고,

환경부지정 멸종위기 야생생물은 II급의 묵납자루와 가는돌고기, 돌상어 *Gobiobotia brevibarba* 3종이 채집되었다. 상류에서 하류로 갈수록 대체적으로 우점도는 낮아지고 종수와 개체수, 다양도, 풍부도는 높아지는 경향을 보였고, 하천건강성은 좋음(St. 1~8) 또는 매우 좋음(St. 9~11)으로 평가되었다. 군집구조는 상류(St. 1~2, 4~5)와 중·상류(St. 3, 6), 중류(St. 7~9), 하류(St. 10~11)로 구분되었다. 화양천에 서식하는 멸종위기종 가는돌고기는 주로 하류부(St. 10~11)의 암반과 큰돌에 집단으로 서식하고 있었고, 산란기인 4월을 기준으로 전장 44~61 mm는 만 1년생, 전장 66~81 mm는 만 2년생, 전장 88~99 mm는 만 3년생, 전장 104~107 mm는 만 4년생 이상으로 추정되었다. 또한 멸종위기종 묵납자루는 중·하류(St. 7~11)의 유속이 느리고 하상이 큰돌과 돌, 모래이며 수생식물이 서식하고 있는 곳에 서식하였으며, 연령은 산란기인 4월을 기준으로 전장 30~43 mm는 만 1년생, 전장 48~58 mm는 만 2년생, 전장 62~77 mm는 만 3년생, 전장 84~100 mm는 만 4년생 이상으로 추정되었으며, 성비는 암컷 47개체, 수컷 42개체가 채집되어 1:0.89였다.

## 사 사

본 연구는 2018년 속리산국립공원의 특별보호구역(화양계곡) 모니터링과 자원모니터링 일환으로 연구되었으며, 조사가 원활히 이루어질 수 있도록 도움을 주신 속리산국립공원 화양분소 지원분들께 감사드립니다.

## REFERENCES

- Baek, H.M. 2005. Ecological studies on the Korean bitterling, *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae) in Korea. Doctoral Thesis, Kangwon National University, Chuncheon, 186pp. (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 J. Ichthyol., 27: 116-132. (in Korean)
- 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 J. Ichthyol., 26: 50-69. (in Korean)
- Cummins, K.W. 1962. An evolution of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. Amer. Midl. Nat'l., 67: 477-504.
- DI (The Department of the Interior). 1993. Natural resource survey of National Park, Songnisan. The Department of the Interior, 181pp. (in Korean)
- Hur, J.W., H. Kang and M.H. Jang. 2011. Investigation on physical

- habitat condition and fish fauna in Dal Stream of Han River Basin. Environ. Engin. Res., 2011: 564-571. (in Korean)
- IFRI (Inland Fisheries Research Institute). 2013. Development of inland fisheries using ecosystem management approach and biodiversity increasing research. National Fisheries Research & Development Institute, Gapyeong, 76pp. (in Korean)
- Jang, M.H., G.J. Joo and M.C. Lucas. 2006. Diet of introduced largemouth bass in Korean rivers and potential interactions with native fishes. Ecol. Freshwater Fish, 15: 315-320.
- Kani, T. 1944. Ecology of torrent-inhabiting insects, pp. 171-317. In: Insect I (Furukawa, J., ed.). Kenkyu-sha, Tokyo. (in Japanese)
- Kim, H.S. 2014. Spawning ecology and conservation of the Korean bitterling, *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae). Doctoral Thesis, Chonbuk National University, Jeonju, 158pp. (in Korean)
- Kim, I.S. 1997. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, Vol. 37, Freshwater fishes. Ministry of Education, Yeongi, 518pp. (in Korean)
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2007. Freshwater fishes of Korea. Kyohak Publishing Co., Ltd., Seoul, 467pp. (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, 615p. (in Korean)
- KNPRI (Korea National Park Research Institute). 2003. Natural resource survey of Songnisan National Park. Korea National Park Research Institute, Namwon, 595pp. (in Korean)
- KNPRI (Korea National Park Research Institute). 2011. Natural resource survey of Songnisan National Park. Korea National Park Research Institute, Namwon, 609pp. (in Korean)
- KNPS (Korea National Park Service). National Park of Korea. Retrieved from <http://www.knps.or.kr>. version (11/2019). (in Korean)
- Ko, M.H., J.Y. Park and Y.J. Lee. 2008. Feeding habitats of an introduced large mouth bass, *Micropterus salmoides* (Perciformes; Centrarchidae), and its influence on ichthyofauna in the Lake Okjeong, Korea. Korean J. Ichthyol., 20: 36-44. (in Korean)
- Ko, M.H., H. Yang and I.C. Bang. 2019a. Recovery success and habitat status of the reintroduced endangered species, *Acheilognathus signifer* (Pisces: Cyprinidae: Acheilognathinae) in the Heukcheon Stream, a tributary of the Hangang River, Korea. Korean J. Ichthyol., 31: 67-76. (in Korean)
- Ko, M.H., R.H. Myung and H.S. Kim. 2019b. Fish Community characteristics and habitat aspects of endangered species, *Rhodeus pseudosericeus* in Heuk Stream, a tributary of the Han River Drainage System. Korean J. Environ., 33: 266-279. (in Korean)
- Ko, M.H., S.Y. Park and I.C. Bang. 2012. Egg development and early life history of the slender shinner, *Pseudopungtungia tenuicarpa* (Pisces: Cyprinidae). Korean J. Ichthyol., 24: 48-55. (in Korean)
- 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 J. Ichthyol., 26: 99-111. (in Korean)
- 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*. Doctoral Thesis, Kunsan National University, Gusan, 131pp. (in Korean)
- 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). 2005. Enforcement of wildlife laws (Law No. 7167). (in Korean)
- ME (Ministry of Environment). 2010. Culture and restoration of endangered species in the major four river drainages. Institute of Biodiversity Research, Jeonju, 86pp. (in Korean)
- ME (Ministry of Environment). 2011. Culture and restoration research of endangered freshwater fish (four species include *Liobagrus obesus*). Soonchunhyang University, Asan, 359pp. (in Korean)
- ME (Ministry of Environment). 2012. Conservation and management laws of wildlife (Law No. 10977). (in Korean)
- ME (Ministry of Environment). 2017. Conservation and management laws of wildlife (amendment of enforcement regulations) (Law No. 10977). (in Korean)
- MLTM (Ministry of Land & Transport and Maritime Affairs). 2010. Culture and restoration of endangered species in the major four river drainages. Soonchunhyang University, Asan, 489pp. (in Korean)
- MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs). 2011. Culture and restoration of endangered species in the major four river drainages II. Soonchunhyang University, Asan, 363pp. (in Korean)
- MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs). 2012. Culture and restoration of endangered species in the major four river drainages III. Soonchunhyang University, Asan, 423pp. (in Korean)
- Nelson, J.S. 2006. Fishes of the World. John Wiley & Sons, Inc., Alberta, 601pp.
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2011. Breeding manual of endangered freshwater fish. National Institute of Biological Resources, Incheon, 239pp. (in Korean)
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2016. Survey and evaluation method for river and stream ecosystem health assessment. National Institute of Biological Resources, Incheon, 313pp. (in Korean)
- Nishimura, S. 1974. Formation of the Sea of Japan: approach from biogeography. Tsukiji-Shokan, Tokyo, 274pp. (in Japanese)
- Pielou, E.C. 1969. Shannon's formula as a measure of diversity. American Natural., 100: 463-465.

Pielou, E.C. 1975. Ecological diversity. John Wiley, New York, 165pp.  
Ricker, W.E. 1971. Methods for assessment of fish production in freshwaters. IBP hand book, 3: 112-113.  
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 deposi-

tional history of late Quaternary deposits in a tide-dominated setting: An example from the eastern Yellow Sea. Mar. Petrol. Geol., 73: 212-227.  
Yun, C.H., G.S. Kang and S.G. Park. 2017. Special protection zone monitoring report for Sokrisan National Park. Sokrisan National Park, Boeun, 14pp. (in Korean)