

한강 지류 금당천의 어류군집 특징과 멸종위기종 한강납줄개의 서식양상^{1a}

한미숙² · 고명훈^{3*}

Fish Community Characteristics and Distribution Aspect of *Rhodeus pseudosericeus*(Cyprinidae) in the Geumdangcheon(Stream), a Tributary of the Hangang Drainage System of Korea^{1a}

Mee-Sook Han², Myeong-Hun Ko^{3*}

요약

금당천의 어류군집 특징과 멸종위기종 한강납줄개(*Rhodeus pseudosericeus*)의 서식양상을 파악하기 위해 2021년 3월부터 10월까지 조사를 실시하였다. 조사기간 동안 7개 지점에서 5과 25종 1,698개체의 어류가 채집되었다. 우점종은 피라미(*Zacco platypus*, 상대풍부도 46.5%), 아우점종은 긴물개(*Squalidus gracilis majimae*, 16.7%) 였으며, 그 외 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*, 12.0%), 참갈겨니(*Z. koreanus*, 5.7%), 돌고기(*Pungtungia herzi*, 3.2%), 한강납줄개(2.0%), 떡납줄갱이(*R. notatus*, 1.9%), 납지리(*Acheilognathus rhombeus*, 1.8%) 등의 순으로 우세하였다. 출현종 중 한국고유종은 돌마자(*Microphysogobio yaluensis*), 한강납줄개, 각시붕어(*R. uyekii*), 참중고기(*Sarcocheilichthys variegatus wakiyae*), 긴물개, 참갈겨니, 점줄종개(*Cobitis nalbanti*), 참종개(*Iksookimia koreensis*), 얼룩동사리(*Odontobutis interrupta*) 9종(고유화율 36.0%)이었고, 외래종은 생태계교란 생물로 지정된 배스(*Micropterus salmoides*) 1종이 하류부에서 채집되었다. 법정보호종으로 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급인 한강납줄개의 서식양상을 조사한 결과, 서식범위는 금당천 증류부(RP-1~RP-4) 약 6~7km 구간이며, 주로 수심 0.3~1.0m의 유속이 느리고 수생식물이 많은 소의 수변부에 서식하고 있었다. 어류군집 분석 결과, 전체적으로 우점도와 균등도가 낮고 다양도와 풍부도는 높게 나타났으며, 군집구조는 크게 상류와 중하류로 구분되었다. 하천 건강성은 좋음(3지점)과 보통(3지점), 나쁨(1지점)으로 평가되었고, 수질은 상류와 하류 모두 좋음으로 평가되었다. 선행연구와 비교한 결과, 종수는 큰 차이를 보이지 않았으며, 과거에는 출현하였으나 본 조사에서 출현하지 않은 종은 13종이었고, 반면 본 조사에서 처음으로 출현한 종은 6종이었다. 교란요인은 하천공사와 많은 보, 외래어종 배스의 서식 등이 확인되었다. 금당천은 멸종위기종 한강납줄개를 비롯한 납지리아과(Acheilognathinae) 어류가 많이 서식하여 보존가치가 높은 지역이기 때문에, 지속적인 관심과 체계적인 보존방안이 요구된다.

주요어: 어류상, 군집구조, 어류생물지수, 멸종위기어류 서식지

1 접수 2023년 2월 28일, 수정 (1차: 2023년 3월 26일), 게재확정 2023년 3월 31일

Received 28 February 2023; Revised (1st: 26 March 2023); Accepted 31 March 2023

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

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

a 이 논문은 2021년도 국립생태원 제5차 전국자연환경조사의 연구비 지원으로 수행된 연구임(NIE-A-2023-01)

* 교신저자 Corresponding author: Tel: 070-7370-6612, E-mail: hun7146@gmail.com

ABSTRACT

This study investigated the characteristics of fish communities and inhabiting status of the endangered species, *Rhodeus pseudosericeus*, in the Geumdang Stream in Korea from March to October 2021. A total of 1,698 fish in 5 families and 25 species were collected from 7 survey stations during the survey period. The dominant species was *Zacco platypus* (relative abundance, 46.5%), and the subdominant species was *Squalidus gracilis majimae* (16.7%), followed by *Rhynchocypris oxycephalus* (12.0%), *Z. koreanus* (5.7%), *Pungtungia herzi* (3.2%), *R. pseudosericeus* (2.0%), *R. notatus* (1.9%), and *Acheilognathus rhombeus* (1.8%). Nine Korean endemic species (36.0%) were collected, including *R. pseudosericeus*, *R. uyekii*, *Sarcocheilichthys variegatus wakiyae*, *Microphysogobio yaluensis*, *S. gracilis majimae*, *Z. koreanus*, *Cobitis nalbanti*, *Iksookimia koreensis*, and *Odontobutis interrupta*. An exotic species, *Micropterus salmoides*, designated as an invasive alien species (IAS), was collected downstream. The investigation of the habitat patterns of the endangered species (class II), *Rhodeus pseudosericeus*, showed a habitat range of about 6 to 7 km in the middle of Geumdang Stream (RP-1 to RP-4), and this species inhabited the edge with water depths of 0.3 through 1.0 m with slow water flow and many aquatic plants. According to the community analysis results, the overall dominance and evenness indexes were low, while diversity and richness indexes were high, and the cluster structure was largely divided into upstream and middle-downstream areas. The river health (fish assessment index) evaluated using fish was assessed as good (3 stations), normal (3 stations), and bad (1 station), and water quality was evaluated as good both upstream and downstream. Compared to previous studies, the number of species was relatively similar, and among the species that appeared in the past, 13 species did not appear in this survey, while 6 species appeared for the first time in this survey. Disturbance factors included river construction, many weirs, and the appearance of the ecosystem-disturbing species, *M. salmoides*. Since Geumdang Stream has high conservation value because it is home to many species in the *Acheilognathinae* subfamily, including the endangered species *R. pseudosericeus*, continuous attention and systematic conservation measures are required.

KEY WORDS: FISH FAUNA, COMMUNITY STRUCTURE, FISH ASSESSMENT INDEX, ENDANGERED SPECIES HABITAT

서론

담수어류는 하천생태계의 먹이사슬 최상위 소비자로서 하천 생태계를 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). 최근에는 농경의 치수관리에 의한 저수지나 댐, 하구둑의 건설, 하천정비공사, 외래종의 도입, 상업종의 남획 등 인위적인 요인으로 인해 담수 어류의 어류상 및 군집구조에 큰 영향을 미치고 있다(Jang *et al.* 2006; Kwater, 2007; NFRDI, 2010; NIBR, 2011; Ko *et al.*, 2017). 이러한 영향으로 다양성이 감소하고 많은 수생생

물의 서식지와 개체수가 감소하면서 멸종위기종에 처하거나 일부 종은 절멸한 것으로 보고되고 있다(Sala *et al.*, 2000; NIBR, 2011; 2019). 현재 멸종위기종 중 어류는 I급에 11종, II급에 18종이 지정되어 보호받고 있다(ME, 2022).

금당천은 경기도 여주시에 위치하며 수리봉(해발 359.0m)에서 발원하여 남한강으로 유입되며 유역면적 92.57km², 유로연장 22.31km, 하천연장 20.84km인 지방2급 하천이다. 주위에 비교적 높지 않은 산으로 둘러싸여 있어 경사가 완만하며 하천 주변은 농경지가 많으며, 주요 지류로 일신천, 완장천 등이 있다(Kwater, 2007). 이 하천에는 환경부지정 멸종위기야생생물 II급인 한강납줄개(*Rhodeus pseudosericeus*)가 서식하는 것으로 보고되어 주목받고 있으며(Yang and Kim, 2005; Ko *et*

al., 2018), 비교적 다양한 어류가 서식하는 것으로 보고되었다 (Yang and Kim, 2005; Park and Hong, 2010; Baek and Kim, 2010).

한강납줄개는 2001년 신종 보고된 한국고유종으로(Arai et al., 2001) 한강의 조종천과, 흑천, 섬강, 금당천, 주천강의 중하류부 지류와 무한천, 대천천 등에 제한적으로 서식하고 있으며(Ko et al., 2018; NIER, 2011; 2019), 최근 개체수가 감소하여 2012년부터 환경부지정 멸종위기 II급에 지정되어 법적 보호를 받고 있다(ME, 2012). 한강납줄개에 대한 연구는 산란 생태 및 개체군 특성(Kim et al., 2017; Ko et al., 2019), 초기생활사(Kim et al., 2006), 멸종위협평가(Ko et al., 2018) 등이 보고되었다.

본 조사에서는 금당천의 어류군집 특징을 밝히는 일환으로 어류상조사, 군집분석, 하천건강성평가를 실시하였고, 환경부 지정 멸종위기 야생생물 II급인 한강납줄개의 서식양상을 밝히며, 나아가 보전방안을 제시하고자 하였다.

연구방법

1. 조사시기 및 조사지점

어류상 조사는 2021년 장마 전 후인 3~4월과 8~9월로 나누어 2회 조사하였고, 다양한 서식지가 포함될 수 있도록 다음과 같이 3~5km 간격으로 7개 지점을 선정하였다. 한강납줄개 서식양상 조사는 2021년 10월 금당천 중하류에 2~2.5km 간격으로 6개 지점을 선정하여 1회 조사하였다. 조사지점은 금당천의 각 조사지점의 행정구역은 다음과 같으며 멸종위기종의 보호를 위해 GPS정보는 제외하였다(Figure 1).

<어류상 조사>

- St. 1. 경기도 양평군 지평면 일신리 합수부
- St. 2. 경기도 여주시 북내면 주암리 지산4교
- St. 3. 경기도 여주시 북내면 석우리
- St. 4. 경기도 여주시 북내면 상교리
- St. 5. 경기도 여주시 북내면 외룡리 신라교
- St. 6. 경기도 여주시 북내면 중암리 중신교
- St. 7. 경기도 여주시 북내면 가정리 금당교

<한강납줄개 서식범위 조사>

- RP-1. 경기도 여주시 북내면 석우리
- RP-2. 경기도 여주시 북내면 덕산리
- RP-3. 경기도 여주시 북내면 외룡리
- RP-4. 경기도 여주시 북내면 당우리

RP-5. 경기도 여주시 북내면 신접리

RP-6. 경기도 여주시 북내면 가정리

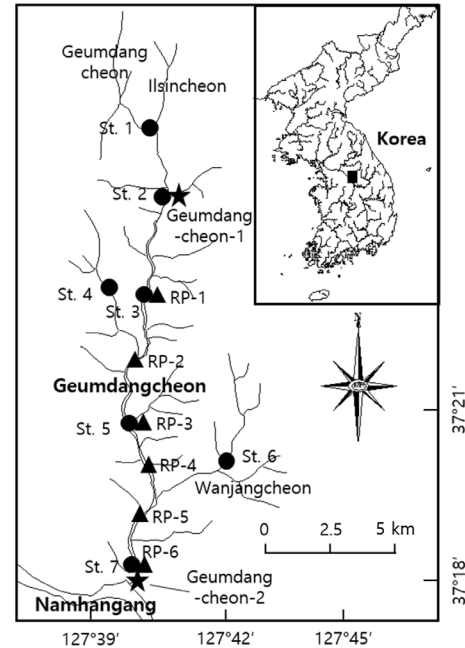


Figure 1. Study stations in the Geumdangcheon, Yeosu-si and Yangpyeong-gun, Korea. Black circle: fish fauna survey stations, black triangle: distribution survey stations of *Rhodeus pseudosericeus*, black star: water quality measurement stations.

2. 조사방법

1) 서식지 환경요인

서식지의 물리적 환경요인은 하폭과 유폍, 수심, 고도, 하천형, 하천차수, 하상구조 등을 조사하였다. 이중 하폭과 유폍, 수심은 거리 측정용 망원경(Yardage pro Tour XL, BUSHNELL, Japan)과 줄자를 이용하여 측정하였다. 하천형은 Kani(1944)에 따라 구분하였고, 하상구조는 Cummins (1962)의 방법을 응용하여 현장에서 육안으로 구분하였다. 또한 하천차수(stream order)는 하천건강성 평가 기준인 축척 1 : 120,000 기준으로 계산하였으며(NIER, 2016; 2019), 고도는 Google Earth (Google Earth Pro, USA)의 정보를 이용하였다.

2) 어류의 채집 및 분류

어류는 정량조사를 위하여 조사지점 당 200m 구간에서 하천규모에 따라 족대(4×4mm, 30분)와 투망(망목 6×6mm, 10회)을 이용하여 채집하였다. 채집된 어류는 현장에서 동정 후 바로 방류하였고, Kim(1997)과 Kim et al.(2005), Kim and

Park(2007)에 따라 동정하였으며, 학명은 NIBR(2022), 분류 체계는 Nelson(2006)을 따랐다.

3) 수질

조사년도(2021년 1~12월)의 수질(수온, 용존산소량(DO), 생물학적산소요구량(BOD), 화학적산소요구량(COD), 부유물질(SS), 총질소(TN), 총인(TP), 총유기탄소(TOC), 수소이온농도(pH), 전기전도도(EC)) 변화는 물 환경정보시스템에서 수질 측정망 중 금당천에 위치한 금당천1(상류), 금당천2(하류)에서 측정된 자료를 이용하였다(WEIS, 2021). 수질 등급은 물환경정보시스템의 수질 및 수생태계 환경기준에 따라 2021년 1월부터 12월까지의 데이터 평균값을 계산한 후 7단계 등급인 매우 좋음(Ia), 좋음(Ib), 약간 좋음(II), 보통(III), 약간 나쁨(IV), 나쁨(V), 매우 나쁨(VI)으로 나누어 평가하였다(WEIS, 2021).

4) 군집분석 및 하천건강성 평가

군집분석은 각 조사지점에서 출현한 종과 개체수를 기준으로 우점도와 다양도, 균등도, 풍부도를 산출하였다(Margalef, 1958; McNaughton, 1967; Pielou, 1966; 1975). 군집구조는 조사지점별 출현 종과 개체수를 근거로 Primer 5.0(PRIMER

E Ltd, UK)을 이용하여 Bray-Curtis 유사도를 계산한 후 도식화하였다. 조사지점들의 건강성은 시기별, 지점별로 채집된 어류 결과를 우리나라 하천건강성 평가를 위해 개발된 모델(IBM)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. 봄과 가을로 나누어 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; 2019).

결과

1. 서식지 환경

1) 수문학적 환경

조사지점별 수문학적 환경은 Table 1과 같다. 금당천은 전체적으로 고도가 낮고 완만하며, 하폭과 유평은 상류에서 하류

Table 1. Physical environments at the study stations in the Geumdangcheon, Korea from March to October 2021

Stations	River width (m)	Water width (m)	Water depth (m)	Altitude (m)	River type*	Stream order**	Bottom structure (%)***						Etc#
							M	S	G	P	C	B	
St. 1	20-30	5-10	0.3-1.5	118	Aa-Bb	3		60	20	10	10		
St. 2	50-60	5-30	0.3-1.2	94	Aa-Bb	3				20	50	30	W
St. 3	110-130	50-80	0.3-1.5	73	Bb	3		30	10	20	30	10	W,RW
St. 4	25-30	3-5	0.3-1.0	96	Aa	2		80	10			10	W
St. 5	60-70	15-30	0.3-1.2	54	Bb	3		20	20	40	20		W
St. 6	30-40	5-10	0.3-1.2	75	Aa-Bb	2		60		10	20	10	W,RW
St. 7	130-150	30-80	0.3-1.5	41	Bb	4	20	30		10	30	10	D
RP-1	110-130	50-80	0.3-1.5	73	Bb	3		30	10	20	30	10	W,RW
RP-2	70-80	10-50	0.3-1.5	61	Bb	3	10	20	10	30	20	10	W
RP-3	60-70	15-30	0.3-1.2	54	Bb	3		20	20	40	20		W
RP-4	80-100	5-50	0.3-1.5	50	Bb	3	20	50	20	10			W
RP-5	120-140	20-70	0.3-1.3	45	Bb	4	20	30	20	20	10		W,BC
RP-6	130-150	30-80	0.3-1.5	41	Bb	4	20	30		10	30	10	DS

*River type: by Kani (1944); **M: Mud (-0.1 mm), S: Sand (0.1-2 mm), G: Gravel (2-16 mm), P: Pebble (16-64 mm), C: Cobble (64-256 mm), B: Boulder (256< mm) -modified Cummins (1962), #W: weir, RW: river work, BC: bridge construction, DS: drope structure.

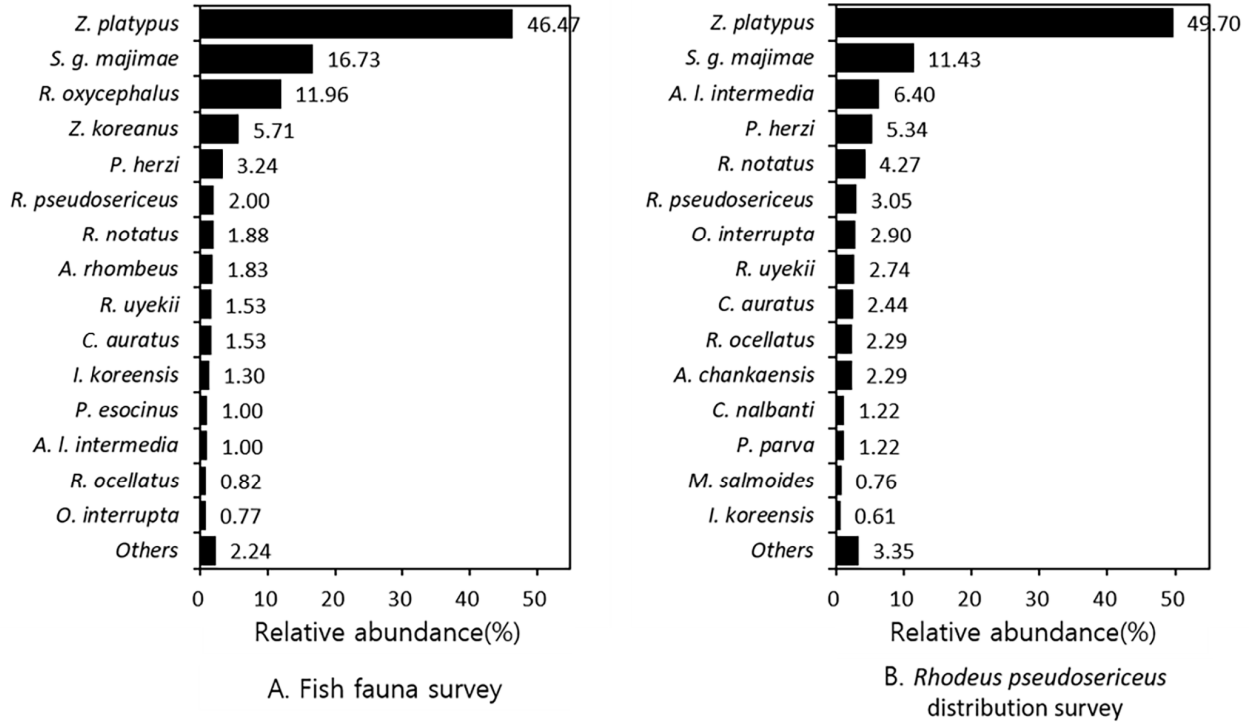


Figure 2. Relative abundance of the fish species found in the Geumdangcheon, Korea from March to October 2021.

로 갈수록 급격히 증가하였다. 수심은 대체로 0.3~1.5 m로 비교적 유사하였고, 하천형은 상류형(Aa 또는 Aa-Bb type) 또는 중류형(Bb type)이었으며, 하천차수는 2~4차였다. 하상구조는 지점별 차이가 많았는데, 대체로 모래와 돌, 자갈 등의 순으로 높게 구성되어 있었다. St. 1을 제외한 대부분의 지점에 보가 설치되어 있었으며, St. 7(RP-6)은 낙차공이 설치되어 있었다. St. 3, 6은 하천공사가, RP-5는 다리공사가 진행되어 어류 서식지의 교란요인으로 작용하고 있었는데, 특히 St. 3은 2차 조사시 하류부가 하천평탄화가 이루어지면서 심각한 생태계 교란이 있었다(Figure 2).

2) 이학적 환경

수질 측정망 중 금당천에 위치한 측정소의 연 측정값은 Table 2와 같다. 상류 측정소인 금당천1은 용존산소량(9.49±2.28 mg/L), 생물학적산소요구량(0.68±0.21), 부유물질(1.20±0.94), 총유기탄소량(1.30±0.43)이 매우 좋음(Ia), 화학적산소요구량(2.55±0.60)은 좋음(Ib)으로 평가되어 최종 좋음(Ib)으로 평가되었다. 하류 측정소인 금당천2는 용존산소량(10.96±1.72 mg/L), 생물학적산소요구량(0.92±0.60), 부유물질(7.76±12.25)이 매우 좋음(Ia), 화학적산소요구량(3.82±1.62)과 총유기탄소량(2.06±0.97)은 좋음(Ib)으로 평가되어 최종 좋음(Ib)으로 평가되었다.

Table 2. Water quality status in the Geumdangcheon, Korea from January to December 2021

Index	Measurement sites	
	Geumdangcheon-1	Geumdangcheon-2
Water temperature(°C)	14.37±6.03	17.29±7.33
DO(mg/L)	9.49±2.28	10.96±1.72
BOD(mg/L)	0.68±0.21	0.92±0.60
COD(mg/L)	2.55±0.60	3.82±1.62
SS(mg/L)	1.20±0.94	7.76±12.25
TN(mg/L)	2.90±0.95	2.20±0.79
TP(mg/L)	0.03±0.02	0.05±0.05
TOC(mg/L)	1.30±0.43	2.06±0.97
pH	7.10~8.10	6.90~8.90
EC(µS/cm)	149.9±23.67	218.4±31.16
Grade*	Ib	Ib

River living environment standard grade (WEIS, 2020)

2. 어류상

금당천 어류상 조사는 7개 지점을 2회 조사하여 총 5과 25종 1,698개체를 채집하였고, 우점종은 피라미 (*Zacco platypus*, 상대풍부도 46.5%), 아우점종은 긴물개 (*Squalidus gracilis majimae*, 16.7%) 였으며, 그 외 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*, 12.0%), 참갈겨니 (*Z. koreanus*, 5.7%), 돌고기 (*Pungtungia herzi*, 3.2%), 한강납줄개(2.0%), 떡납줄갱이(*R. notatus*, 1.9%), 납지리(*Acheilognathus rhombeus*, 1.8%) 등의 순으로 우세하였다. 지점별 종수는 1~16종이 출현하였는데, St. 3, 5가 16종으로 가장 많았고 St. 4가 1종으로 가장 적었다. 지점별 개체수는 53~432개체로 나타났는데, St. 3이 432개체로 가장 많았고 St. 4가 53개체로 가장 적었다. 출현종 중 한국고유종은 돌마자(*Microphysogobio yaluensis*), 한강납줄개, 각시붕어(*R. uyekii*), 참중고기(*Sarcocheilichthys variegatus wakiyae*), 긴물개, 참갈겨니, 점줄종개(*Cobitis nalbanti*), 참중개 (*Iksookimia koreensis*), 얼룩동사리(*Odontobutis interrupta*) 9종(고유화율 36.0%)이었고, 외래종이며 생태계교란 생물로 지정된 배스(*Micropterus salmoides*) 1종이 채집되었다.

금당천 한강납줄개 서식분포 조사는 6개 지점을 1회 조사하여 총 6과 25종 656개를 채집하였고, 우점종은 피라미(49.7%), 아우점종은 긴물개(11.4%), 그 외 납자루(*A. lanceolata intermedia*, 6.4%), 돌고기(5.3%), 떡납줄갱이(4.3%), 한강납줄개(3.1%), 얼룩동사리(2.9%), 각시붕어(2.7%) 등의 순으로 우세하였다. 지점별 종수는 8~13종이 출현하였는데, RP-1이 13종으로 가장 많았고 RP-2가 8종으로 가장 적었다. 지점별 개체수는 85~170개체로 나타났는데, RP-1이 170개체로 가장 많았고 RP-6로 85개체로 가장 적었다. 출현종 중 한국고유종은 한강납줄개, 각시붕어, 돌마자, 긴물개, 물개(*S. japonicus coreanus*), 점줄종개, 참중개, 얼룩동사리 8종(고유화율 28.0%) 이었고, 외래종이며 생태계교란 생물로 지정된 배스 1종이 채집되었으며, 육봉형 어류로 밀어(*Rhinogobius brunneus*) 1종이 채집되었다(Table 3, Figure 3).

3. 한강납줄개 서식양상

환경부지정 멸종위기 야생생물 II 급으로 지정된 한강납줄개는 금당천 어류상 조사(2회 조사)로 St. 3에서 30개체, St. 5에서 4개체로 모두 34개체가 채집되었고, 한강납줄개 서식양상 조사(1회 조사)로 RP-1 10개체, RP-2 4개체, RP-3 4개체, RP-4 2개체로 모두 20개체가 채집되었고, 서식구간은 RP-1(St. 3)에서 RP-4까지 약 6~7km 구간이었다(Table 3). 주로 수심 0.3~1.0m로 유속이 느리고 달뿌리풀(*Phragmites japonica*), 붕어마름(*Ceratophyllum demersum*), 갯버들류 (pussy willow) 등의 수생식물이 많은 소(pool)의 수변부에

서식하고 있었다. 한강납줄개의 숙주 조개인 작은말조개(*Unio douglasiae simuolatus*)는 St. 3, 5, 7 및 RP-1~RP-5에서 서식이 확인되었다.

4. 우점종과 군집분석

어류상 조사의 지점별 우점종은 피라미가 4개 지점, 버들치 2개 지점, 참갈겨니 1개 지점으로 피라미가 가장 많았다. 군집 분석 결과 우점도는 St. 2~3이 0.700 이하로 낮았으나 그 외 지점은 0.800이상으로 높았고, 반대로 다양도와 균등도는 St. 2, 3이 높게 나타났으나 그 외 지점은 낮게 나타났으며, 풍부도는 St 3, 5가 2.000 이상으로 높았으나 St 1, 6이 1.000이하로 낮았다. 전체 지점의 우점도는 0.632, 다양도는 1.891, 균등도는 0.588, 풍부도는 3.227으로 나타나 비교적 우점도와 균등도가 낮고 다양도와 풍부도는 높게 나타났다(Table 4). 지점간 유사도를 근거로 군집구조를 분석한 결과, St. 4, 6은 상류로, 1, 3, 5, 7, 2는 중하류로 구분되었다(Figure 3).

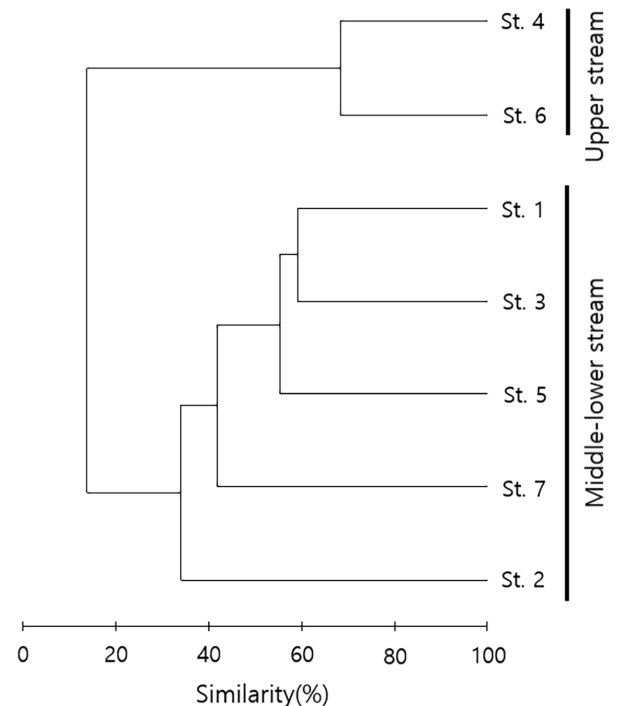


Figure 3. Dendrogram for the cluster analysis based on similarity index of the fish species found among the stations in the Geumdangcheon, Korea from March to September 2021.

Table 3. List of fish species and number of individual fish collected in the Geumdangcheon, Korea from March to October 2021

Scientific name	Fish fauna survey							Rhodeus pseudosericeus distribution survey							RA (%)*	Remarks**		
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	Total	RA (%)*	RP-1	RP-2	RP-3	RP-4	RP-5			RP-6	Total
Cyprinidae																		
<i>Cyprinus carpio</i>							2	2	0.12					1			1	0.15
<i>Carassius auratus</i>			12		5	5	4	26	1.53	5	6	3			2	16	2.44	
<i>Acheilognathus lanceolata intermedia</i>					6		11	17	1.00	5	5	5	5	12	15	42	6.40	
<i>Acheilognathus rhombeus</i>			24		5		2	31	1.83	2				15		2	0.30	
<i>Acheilognathus chankaensis</i>																		
<i>Rhodeus notatus</i>					7			32	1.88	7	5	12		4		28	4.27	
<i>Rhodeus ocellatus</i>			14					14	0.82	15						15	2.29	
<i>Rhodeus pseudosericeus</i>			30		4			34	2.00	10	4	4	2			20	3.05	
<i>Rhodeus uyekii</i>			19		7			26	1.53	10	6	2				18	2.74	
<i>Hemibarbus labeo</i>							7	7	0.41					3		3	0.46	
<i>Hemibarbus longirostris</i>			2		2		3	7	0.41	2		1				3	0.46	
<i>Microphysogobio yaluensis</i>			4				4	0.24						1		1	0.15	
<i>Pseudogobio esocinus</i>	3		7		3		4	17	1.00	2					2	0.30		
<i>Pseudorasbora parva</i>	15	14	20		1			1	0.06			2	2	4		8	1.22	
<i>Pungtungia herzi</i>					6			55	3.24	25	3	4			3	35	5.34	
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyai</i>	127	31	121				1	1	0.06									
<i>Squalidus gracilis majimae</i>								284	16.73	25	21	21		8		75	11.43	
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>	28	19	7	53				203	11.96						4	4	0.61	
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>			97					97	5.71									
<i>Zacco koreanus</i>	222	14	132	309			112	789	46.47	62	50	45	75	45	49	326	49.70	
<i>Zacco platypus</i>																		
Cobitidae																		
<i>Cobitis nalbanti</i>					12			12	0.71			4	2	2		8	1.22	
<i>Iksookimia koreensis</i>			5	13	4			22	1.30	2			2		4	0.61		
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>					1	1		2	0.12			2	1		3	0.46		
Siluridae																		
<i>Silurus asotus</i>			1					1	0.06				1			1	0.15	
Centrarchidae																		
<i>Micropterus salmoides</i>							1	1	0.06					1	4	5	0.76	
Odontobutidae																		
<i>Odontobutis interrupta</i>	5	3	1	3	1			13	0.77	3	2	1	10	1	2	19	2.90	
Gobiidae																		
<i>Rhinogobius brunneus</i>															2	2	0.30	
Number of family	6	7	16	1	16	4	10	25		13	8	12	11	10	10	25		
Number of species	400	183	432	53	380	103	147	1698		170	99	104	105	93	85	656		

*RA: Relative abundance (%); **E: Korean endemic species, EnI: endangered species rank I, Ex: Exotic species, Ed: Ecosystem-disrupting species, L: land-locked species.

Table 4. Community indices in the Geumdangcheon, Korea from March to September 2021

Index	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	Total
Dominance	0.873	0.699	0.586	1.000	0.845	0.981	0.837	0.632
Diversity	1.092	1.431	2.055	-	0.958	0.302	1.007	1.891
Evenness	0.609	0.736	0.741	-	0.345	0.218	0.437	0.588
Richness	0.835	1.152	2.472	-	2.525	0.647	1.803	3.227

Table 5. Fish assessment index(FAI) in the Geumdangcheon, Korea from March to September 2021

Parameter	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7
M1	6.3	6.3	12.5	0.0	12.5	6.3	6.3
M2	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0
M3	0.0	6.3	6.3	6.3	0.0	6.3	0.0
M4	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
M5	6.3	12.5	6.3	12.5	0.0	12.5	0.0
M6	9.4	12.5	6.3	12.5	0.0	12.5	0.0
M7	9.4	9.4	12.5	3.1	12.5	6.3	6.3
M8	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
FAI (grade)	56.3 (C)	71.9 (B)	71.9 (B)	59.4 (C)	50 (C)	68.8 (B)	37.5 (D)

*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. 하천건강성평가

어류상 조사에서 채집된 어류를 근거로 하천건강성을 평가한 결과, 1차와 2차 조사가 비교적 유사하게 나타났으며, St. 2, 3, 6 지점은 좋음(B), St 1, 4, 5는 보통(C), St. 7은 나쁨(D)으로 평가되었다(Table 5).

고찰

금당천의 선행조사는 제2차 전국자연환경조사(Yang and Kim, 2005)로 6개 지점을 조사하여 6과 27종 640개체가 채집되었고, 제3차 전국자연환경조사(Park and Hong, 2010; Baek and Kim, 2010)로 6개 지점을 조사하여 6과 23종 899개체가 채집되었다(Table 6). 본 조사(어류상 조사)로 7개 지점을 조사하여 5과 25종 1,698개체를 채집하여 종수는 약간의 차이가 있으나 비교적 유사하였고, 개체수는 약 2배 이상 많이 채집되었다. 개체수가 본 조사에서 많이 채집된 것은 선행조사가 1회 조사한 반면 본 조사에서는 2회 조사를 실시하였기 때문으로 판단된다.

선행조사에서 서식이 확인되었으나 본 조사에 출현하지 않은 종은 줄납자루(*A. yamatsutae*), 가시납지리(*A. chankaensis*), 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*), 버들매치(*Abbottina rivularis*), 줄몰개(*Gnathopogon strigatus*), 몰개, 강준치(*Erythroculter erythropterus*), 대륙종개(*Orthrias nudus*), 눈동자개(*Pseudobagrus koreanus*), 대륙송사리(*Oryzias sinensis*), 동사리(*Odontobutis platycephala*), 밀어, 민물검정망둑(*Tridentiger brevispinis*) 13종이었는데, 이중 가시납지리와 몰개, 밀어 3종은 한강납줄개 서식양상 조사에서 서식이 확인되었고, 쉬리, 강준치, 대륙종개, 대륙송사리 등은 최근 하천정비 및 보 공사 등으로 인해 서식지가 교란되어 감소 및 소멸한 것으로 추정되며, 버들매치, 줄몰개, 대륙종개, 민물검정망둑 등은 제2차 전국자연환경조사에서 확인된 종으로 본 조사에서는 조사지점의 차이로 인해 서식이 확인되지 않은 것으로 추정된다. 본 조사에서 처음 출현한 어류는 잉어, 떡납줄갱이, 흰줄납줄개, 참중고기, 메기, 배스 6종이었다. 이중 본 조사에서 처음 조사한 St. 3에서 떡납줄갱이, 흰줄납줄개, 메기의 서식이 새롭게 확인되었다. 또한 St. 7에서 잉어와 참중고기, 배스가 처음으로 채집되었는데, 본 종들은 남한강 본류에 많이 서식하는 어류로 남한강에서 금당천에 소상하였다가 채집된 어류로 추정된다.

Table 6. Historical record of ichthyofauna in the Geumdangcheon, Korea from 2005 to 2021

Scientific name	ME (2005)*	ME (2010)**	Presen study (2021)
Cyprinidae			
<i>Cyprinus carpio</i>			2
<i>Carassius auratus</i>	6	13	26
<i>Acheilognathus lanceolata intermedia</i>	43	21	17
<i>Acheilognathus yamatsutae</i>	2	3	
<i>Acheilognathus rhombeus</i>	47		31
<i>Acheilognathus chankaensis</i>	1		
<i>Rhodeus notatus</i>			32
<i>Rhodeus ocellatus</i>			14
<i>Rhodeus pseudosericeus</i>	2		34
<i>Rhodeus uyekii</i>	14		26
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>		1	
<i>Hemibarbus labeo</i>	5	3	7
<i>Hemibarbus longirostris</i>	11	11	7
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	4	16	4
<i>Abbottina rivularis</i>	2		
<i>Pseudogobio esocinus</i>	14	18	17
<i>Pseudorasbora parva</i>	2		1
<i>Pungtungia herzi</i>	38	28	55
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>			1
<i>Gnathopogon strigatus</i>	3		
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	2	29	284
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>	1	1	
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	62	287	203
<i>Zacco koreanus</i>	8	75	97
<i>Zacco platypus</i>	345	235	789
<i>Erythroculter erythropterus</i>		1	
Balitoridae			
<i>Orthrias nudus</i>	3	118	
Cobitidae			
<i>Cobitis nalbanti</i>		4	12
<i>Iksookimia koreensis</i>	2	2	22
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	3	16	2
Siluridae			
<i>Silurus asotus</i>			1
Bagridae			
<i>Pseudobagrus koreanus</i>	1		
Adrianichthyidae			
<i>Oryzias sinensis</i>		2	
Centrarchidae			
<i>Micropterus salmoides</i>			1
Odontobutidae			
<i>Odontobutis interrupta</i>	9	4	13
<i>Odontobutis platycephala</i>		5	
Gobiidae			
<i>Rhinogobius brunneus</i>	9	6	
<i>Tridentiger brevispinis</i>	1		
Number of family	27	23	25
Number of species	640	899	1,698

*ME(2005): The 2rd national environment investigation of freshwater fish(Yang and Kim, 2005), **ME(2010): The 3rd national environment investigation of freshwater fish(Park and Hong, 2010; Baek and Kim, 2010).

한강납줄개는 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급으로 지정된 종으로 2001년 신종 보고된 종으로(Arai *et al.*, 2001), 작은말조개에 산란하는 독특한 산란특성을 보인다(Kim *et al.*, 2017). 분포에서는 한강과 삼교천(무한천), 대천천 수계에 서식하는데, 이중 한강은 서식지역이 가장 넓으며 중류부 지류인 조종천, 흑천, 금당천, 섬강, 한포천, 주천강 등에 서식하는 것으로 알려졌다(Ko *et al.*, 2018). Ko *et al.* (2018)은 한강납줄개의 분포양상 및 멸종위험을 평가하였는데, 댐건설 및 하천공사, 외래어종 배스의 확산, 수질오염 등으로 점유면적이 감소하고 서식지의 질이 하락하여 멸종위험 등급을 취약(VU)으로 평가하였다. 금당천에서는 제2차 전국자연환경조사로 금당천에서 2개체가 채집된 바 있고(Yang and Kim, 2005), 분포조사로 2012년 3지점 10개체, 2014년 2지점 5개체, 2017년 4지점 16개체가 채집된 바 있으며(Ko *et al.*, 2018), 본 조사에서는 4지점 54개체가 채집되어 가장 많은 개체수가 확인되었으며, 한강납줄개의 산란숙주 조개는 중하류 본류에 모두 서식하고 있었다. 하지만 본 조사에서 가장 많은 개체수가 채집된 St. 3(40개체)은 2차 조사시 하천정비공사가 대대적으로 진행되어 서식지 교란이 크게 우려되었고, 금당천 하류부는 생태계교란 생물로 지정된 외래종 배스의 서식이 확인되어 서식분포에 영향을 받은 것으로 추정되었다.

외래종 배스는 1973년 우리나라에 도입된 종으로 1998년에 생태계교란야생생물로 지정되었으며, 강한 육식성 어류로 최근 하천과 댐, 저수지 등에 빠르게 확산되면서 생태계를 교란시키는 것으로 알려졌는데(Ko *et al.*, 2008; 2017; Lee *et al.*, 2009; NFRDI, 2010; Park *et al.*, 2019), 특히 속리산, 소백산, 내장산국립공원의 저수지에서는 배스 도입이후 심각한 생태계 교란이 발생하였고(Park *et al.*, 2021), 형산강에 넓게 서식하던 동방중개와 잔가시고기는 배스 도입이후 중하류에서 자취를 감췄으며(Ko *et al.*, 2020; 2022), 본 연구종인 한강납줄개도 주요 서식지 중 하나인 삼교천지류 무한천에서 배스 도입이후 서식지가 급격히 감소한 것으로 보고되었다(Ko *et al.*, 2018). 금당천의 배스는 2017년 하류부(RP-4)에서 처음으로 확인되었고(Ko *et al.*, 2018) 본 조사에서는 최하류 St. 7에서 서식이 확인되었는데, 이 개체들은 인접한 남한강에서 소상한 개체들로 추정되며 서식범위는 하류부 약 3 km 구간이었다. 아직까지는 서식개체수가 많지 않으나 유영능력이 낮은 한강납줄개에는 심각한 영향을 미칠 것으로 예상된다. 또한 금당천이 경사도가 낮고 정수역이 많은데다 보가 많이 설치되어 있어 주로 정수역으로 이루어져 있기 때문에 정수역을 선호하는 배스가 중상류로 유입되면 급격히 확산할 가능성이 있다. 일반적으로 하천에 설치된 보는 어류의 이동에 큰 장애물로 작용하여 큰 교란으로 작용하나 금당천 중하류의 보는 배스의 소상을 방해하는 장애물로도 작용하기 때문에 아직까지 중상류에는 확산되지 않은 것으로 추정된다. 따라서 추후 금당천의

보의 철거나 어도 설치는 배스의 확산문제가 있기 때문에 신중한 검토 이후 진행해야 할 것이다.

하천건강성은 3지점이 좋음(B), 3지점이 보통(C), 1지점이 나쁨(D)로 평가되어 되었는데, 이중 보통과 나쁨으로 나타난 지점의 경우 8개의 매트릭 중 여울성 저서중수(M2)와 민감종의 개체수 비율(M3), 잡식종의 개체수 비율(M5), 국내종의 총식종 비율(M6)의 비율이 낮게 나타났기 때문이다. 수질이 악화되면 특히 민감종의 비율이 감소하고 전체적으로 중수와 개체수가 감소하여 하천건강성이 나빠지는 것으로 보고되고 있는데(Yeom *et al.*, 2007, Kim *et al.*, 2008; 2009; Ko *et al.*, 2017), 금당천은 상류(금당천1)와 하류(금당천2)의 수질이 모두 용존산소량과 생물학적산소량, 부유물질은 모두 매우 좋음(Ia)이었고 화학적 산소요구량만 좋음(Ib)으로 최종 좋음(Ib)으로 평가되었기 때문에 수질에 의한 하천건강성이 악화되었다고 보기 어려웠다. 금당천의 하천 특징을 보면, 하천 경사도가 낮아 여울이 적은데다 하천에 많은 보가 설치되면서 여울의 비율은 급격히 감소하였고 하상도 모래의 비율이 가장 높고 그 다음으로 돌, 자갈, 펄 순이었다. 이러한 서식환경은 곤충을 섭식하는 여울성 저서종이 서식하기에 적합하지 않기 때문에 이들의 중수 및 개체수가 감소하여 결국 하천건강성도 낮게 나타난 원인으로 판단되었다.

금당천은 멸종위기종(II급) 한강납줄개를 포함하여 다양한 납자루아과 어류가 서식하고 있어 주목되었다. 하지만 하천공사가 진행되고 있고 많은 보와 낙차공이 설치되어 있으며 하류는 생태계교란 생물로 지정된 배스가 서식하고 있는 점은 큰 교란요인이었다. 따라서 금당천의 안정적인 어류의 서식을 위해서는 서식지를 훼손하는 무분별한 하천공사는 반드시 지양하여야 하고, 금당천 하류의 배스는 중상류로의 확산방지 및 구제방안이 필요하다고 판단되며, 나아가 한강납줄개와 본 종의 서식지를 보호할 수 있는 적극적인 방법으로 미호종개 서식지의 천연기념물 지정(제533호) 또는 동강생태계보전지역(2005년 지정)처럼 천연기념물 지정 또는 생태계보전지역 지정 등의 검토가 필요하다고 판단된다.

REFERENCES

- Arai, R., S.R. Jeon and T. Ueda(2001) *Rhodeus pseudosericeus* sp. nov., a new bitterling from South Korea (Cyprinidae, Acheilognathinae). *Ichthyological Research* 48: 275-282.
- Back, H.M. and H. Kim(2010) The 3rd nation environment investigation. Fresh water fishes of the Yeosu whole area. Ministry of Environment, 5pp. (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. *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 Freshwater Fish* 15: 315-320.
- Kani, T.(1944) Ecology of torrent-inhabiting insects. In: J. Furukawa(ed.), *Insect I. Kenkyu-sha*, Tokyo, pp.171-317. (in Japanese)
- Kim, H.M., J.H. Lee and K.G. An(2008) Water quality and ecosystem health assessments in urban stream ecosystems. *Korean Journal of Environment and Ecology* 26: 311-322. (in Korean with English abstract)
- Kim, H.S., J.D. Yoon, H. Yang, H.S. Choi and J.H. Lee(2017) Reproductive characteristics of *Rhodeus pseudosericeus* (Pisces: Acheilognathinae) in the Byekgyecheon, Namhangang (River), Korea. *Korean Journal of Ichthyology* 29: 235-243. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.S. and J.Y. Park(2007) *Freshwater fishes of Korea*. Kyohak Publishing, Seoul, 467pp. (in Korean)
- Kim, I.S.(1997) *Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea*, Vol. 37, *Freshwater fishes*. Ministry of Education, Yeongi, 518pp. (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)
- Kim, Y.P., E.H. Lee and K.G. An(2009) Ecological health assessment of Dongjin River based on chemical measurement and fish assemblage analysis. *Korean Journal of Limnology* 42: 183-191. (in Korean with English abstract)
- 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 Journal of Ichthyology* 20: 36-44. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H., M.S. Han and H.S. Kim(2022) Distribution status and extinction threat evaluation of the short ninespine stickleback *Pungitius kaibarae* (Gasterosteidae) in Korea. *Korean Journal of Ichthyology* 34: 262-269. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H., M.S. Han and S.M. Kwan(2018) Distribution aspect and extinction threat evaluation of the endangered species, *Rhodeus pseudosericeus* (Pisces: Cyprinidae) in Korea. *Korean Journal of Ichthyology* 30: 100-106. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H., M.S. Han and S.M. Kwan(2020) Distribution status and extinction threat evaluation of the Korean endemic species, *Iksookimia yongdokensis* (Pisces: Cobitidae) in Korea. *Korean Journal of Ichthyology* 32: 1-7. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H., R.Y. Myung and H.S. Kim(2019) Fish community characteristics and habitat aspects of endangered species, *Rhodeus pseudosericeus* in Heuk Stream, a tributary of the Han River drainage system. *Korean Journal of Environment and Ecology* 33: 266-279. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H., Y.S. Kwan, W.K. Lee and Y.J. Won(2017) Impact of human activities on changes of ichthyofauna in Dongjin River of Korea in the past 30 years. *Animal Cells and Systems* 21: 207-216.
- Kwater(2007) *A guidebook of rivers in South Korea*. Kwater, Daejeon, 582pp. (in Korean)
- Lee, W.O., H. Yang, S.W. Yoon and J.Y. Park(2009) Study on the feeding of *Micropterus salmoides* in lake Okjeong and lake Yongdam, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* 21: 200-207. (in Korean)
- 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)(2012) *Conservation and management laws of wildlife (Law No. 10977)*.
- ME(Ministry of Environment)(2022) *Conservation and management laws of wildlife (amendment of enforcement regulations) (Law No. 10977)*. (in Korean)
- Moyle, P.B. and J.J. Cech(2000) *Fishes: An introduction to ichthyology (4th ed.)*. Davis: Prentice Hall, 612pp.
- Nelson, J.S.(2006) *Fishes of the world*. John Wiley & Sons, Inc., Alberta, 601pp.
- NFRDI(National Fisheries Research & Development Institute) (2010) *A study on the distribution, utilization and management of foreign fish species*. National Fisheries Research & Development Institute, Gapyeong, 130pp. (in Korean)
- NIBR(National Institute of Biological Resources)(2011) *Red data book of endangered fishes in Korea*. Ministry of Environment, National Institute of Biological Resources, Incheon, 202pp. (in Korean)
- NIBR(National Institute of Biological Resources)(2019) *Red data book of Republic of Korea, Volume 3. Freshwater fishes*. Ministry of Environment, National Institute of Biological Resources, Incheon, 250pp. (in Korean)
- NIER(National Institute of Environmental Research)(2016) *Survey and evaluation method for river and stream ecosystem health assessment*. National Institute of Biological Resources, Incheon, 313pp. (in Korean)
- NIER(National Institute of Environmental Research)(2019) *Survey and evaluation method for river and stream ecosystem health assessment*. National Institute of Environmental Research, 131pp. (in Korean)
- Nishimura, S.(1974) *History of Japan sea: Approach from biogeography*. Tsukiji-Shokan, Tokyo, 274pp. (in Japanese)
- Park, J.S., S.H. Kim, H.T. Kim, J.G. Kim, J.Y. Park and H.S.

- Kim(2019) Study on feeding habits of *Micropterus salmoides* in habitat types from Korea. *Korean Journal of Ichthyology* 1: 39-53. (in Korean)
- Park, S.C. and G.S. Hong(2010) The 3rd nation environment investigation. Fresh water fishes of the Jije whole area. Ministry of Environment, 4pp. (in Korean)
- Park, S.C., K.Y. Lee, K.S. Choi, M.S. Han and M.H. Ko(2021) Inhabitat status and gastric contents of invasive fish species and the effect on fish fauna at three reservoirs in National Parks of Korea. *Journal of National Park Research* 33: 84-94. (in Korean with English abstract)
- Pielou, E.C.(1966) Shannon's formula as a measure of diversity. *American Natural* 100: 463-465.
- Pielou, E.C.(1975) *Ecological diversity*. John Wiley, New York, 165pp.
- Sala, O.E., F.S. Chapin, J.J. Armesto, E. Berlow, J. Bioomfield, R. Dirzo, H.S. Elisabeth, L.F. Huenneke, R.B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, M.L. David, H. Mooney, A.O. Martin, N.L. Poff, T.S. Martin, B.H. Walker, W. Marilyn and D.H. Wall(2000) Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287: 1770-1774.
- WEIS(Water Environment Information System)(2021) River living environment standard. Retrieved from http://water.nier.go.kr/web/waterMeasure?pMENU_NO=2 (in Korean)
- Yang, H. and H.S. Kim(2005) The 2nd nation environment investigation. Fresh water fishes of the Yeosu and Yangpyeong whole area. Ministry of Environment, pp.119-182. (in Korean)
- Yeom, D.H., S.A. Lee, G.S. Kang, J. Seo and S.K. Lee(2007) Stressor identification and health assessment of fish exposed to wastewater effluents in Miho stream, South Korea. *Chemosphere* 67: 2282-2292.
- Yoo, D.G., G.S. Lee, G.Y. Kim, N.K. Kang, B.Y. Yi, Y.J. Kim, J.H. Chun and G.S. Kong(2016) Seismic stratigraphy and depositional history of late quaternary deposits in a tide-dominated setting: An example from the Eastern Yellow Sea. *Marine and Petroleum Geology* 73: 212-227.