

Original article

## 유등천의 어류군집 특성과 멸종위기어류 감돌고기 *Pseudopungtungia nigra* (Pisces: Cyprinidae)의 서식양상

곽영호 · 김강래<sup>1</sup> · 방인철<sup>2,\*</sup>

국립수산과학원 중앙내수면연구소, <sup>1</sup>국립낙동강생물자원관, <sup>2</sup>순천향대학교 생명시스템학과

**Characteristics of Fish Community and Inhabit Status of Endangered Species Black Shinner, *Pseudopungtungia nigra* (Pisces: Cyprinidae) in Yudeungcheon Stream, Korea.** Yeong-Ho Kwak (0000-0003-2919-0808), Kang-Rae Kim<sup>1</sup> (0000-0002-1006-3123) and In-Chul Bang<sup>2,\*</sup> (0000-0003-4584-5384) (Inland Fisheries Research Institute, NIFS, Geumsan 32762, Republic of Korea; <sup>1</sup>Animal & Plant Research Department, Nakdonggang National Institute of Biological Resources, NNIBR, Sangju 37242, Republic of Korea; <sup>2</sup>Department of Life Sciences and Biotechnology, Soonchunhyang University, Asan 31538, Republic of Korea)

**Abstract** Present study investigated fish community at 12 sites within Yudeungcheon Stream in October 2018 and May 2019 to understand the inhabit status of the endangered species *Pseudopungtungia nigra*. We collected 39 species and 2,554 individuals of fish, and the Fish Assessment Index (FAI) was evaluated as “Good (B)” with an average score of 66.8. Among collected fishes, 15 endemic and 2 invasive species, *Micropterus salmoides* and *Lepomis macrochirus* were identified. In the distribution survey of *P. nigra*, it appeared in a range of approximately 12 km from Maebawiyuwonji Park (St. 5) to Budnaedari Bridge (St. 10). Based on population collected in May, the age of *P. nigra* (female) were divided into three groups by the length-frequency distribution method: 1 year old (60~76 mm), 2 years old (82~99 mm), and more than 3 years old (100~117 mm). Total length of the minimum maturity individual was 60 mm, and was a 1 year old. The estimated average population size using the Jolly-Seber method was 5,804 individuals in the Suryeongyo Bridge. Our study provides fundamental information about the fish community and River health assessment in Yudeungcheon Stream. Furthermore, we are expected to provide ecological information of the *P. nigra*, consequently helping to establish conservation and restoration plans for endangered species.

**Key words:** fish community, fish assessment index, mark-recapture method, *Pseudopungtungia nigra*, Yudeungcheon Stream

### 서 론

전 세계의 해양과 담수에 서식하는 어류는 서식처 파괴,

남획, 이입종, 수질오염, 기후변화 등의 문제로 위협에 직면해 있다(Dudgeon *et al.*, 2006; Cooke *et al.*, 2023). 이러한 영향은 수생태계의 특성을 변화시켜 생물다양성을 감소시키며, 어류의 멸종을 야기한다(Wolter *et al.*, 2000). 특히 담수생태계는 수환경 변화에 매우 취약하여 생물다양성 감소가 심화되고 있다(Dudgeon *et al.*, 2006; Radinger

Manuscript received 31 May 2024, revised 4 August 2024, revision accepted 4 August 2024  
\* Corresponding author: Tel: +82-41-530-1286, Fax: +82-41-530-1493  
E-mail: incbang@sch.ac.kr

et al., 2019).

어류는 수생태계의 최상위 소비자로서 다른 수서 분류군에 비해 높은 생태 중요성을 가지며 환경변화에 민감하기 때문에 유용한 생물학적 지표로 사용된다(Seo, 2005; Huang et al., 2013; Radinger et al., 2019). 또한 어류는 서로 다른 생태적 지위, 생활사 등을 가지고 있어 서식지 환경을 평가하는 데 적합하며(Gonzalez et al., 2021), 특히 어류상 및 어류군집 연구는 자연적, 인위적 요인에 따른 수생태계 내 환경 및 어류 변동성을 파악할 수 있어 매우 중요하다(Brown, 2000; Roshni et al., 2023). 어류군집의 특성, 영양단계, 종 풍부도 등 다양한 생태학적 요인을 종합하여 수생태계의 건강성을 평가할 수 있다(Roset et al., 2007; NIER, 2017).

멸종위기에 처한 어류의 자원관리와 회복을 위해 개체군의 생태학적 연구와 자원량 추정 연구는 필수적이다(Labonne and Gaudin, 2005). 개체군 생태 연구는 어류의 성장, 성비, 먹이생물, 산란시기, 성숙연령 등 종에 대한 다양한 기초정보를 파악할 수 있어 이를 기반으로 종 보전을 위한 기초자료로 활용될 수 있다(Song, 2000). 개체군 크기를 추정하는 방법인 표지-재포획 방법(Mark-recapture method)은 감소하는 개체군을 대상으로 개체군의 풍부도, 생존율, 개체군의 가입이나 확산 경향 등을 밝히기 위한 효율적인 방법이며 어류자원의 보전관리를 위한 기초자료로 사용된다(Gerber et al., 1999; Lucas and Baras, 2000). 또한 서식 개체군의 수와 크기는 멸종위기종을 선정하고 체계적인 평가를 위한 중요한 기준이 된다(IUCN, 2001).

유등천은 충남 금산군 진산면에 위치한 인대산과 월봉산에서 발원하여 대전광역시를 지나 감천 하류로 흐르는 금강의 지류하천으로 수질이 좋고 어류상이 다양하다고 알려져 있다(Lim et al., 2013). 또한 유등천은 멸종위기야생생물 I급 감돌고기 *Pseudopungtungia nigra*가 서식하기 때문에 보존가치가 매우 크다(ME, 2012). 그러나 유등천은 최근 도시화 및 하천공원화로 수환경 변화가 빠르게 진행되고 있어 관리의 필요성이 제기되고 있다(ME, 2012).

감돌고기는 잉어과 Cyprinidae에 속하는 어류로 금강, 웅천천, 만경강 수계에만 분포하는 한국고유종이다(Kim and Park, 2002). 과거 웅천천에서 서식했던 개체군은 보령댐 건설 이후 절멸한 것으로 추정되며, 최근 하천공사, 수질오염, 외래종 도입 등 서식처 교란으로 개체군이 지속적으로 감소하고 있어 1996년부터 멸종위기종으로 지정하여 법정보호 관리하고 있다(NIBR, 2019). 감돌고기에 관한 연구는 초기생활사(Lee et al., 2004), 산란생태(Kim et al., 2004; Lee et al., 2014), 서식지 특성(Hur and Kim, 2019) 등의 일부 생태학적 연구와 유전자를 활용한 집단유전학

적 연구(Kim et al., 2009; Hwang et al., 2014; Kim et al., 2023) 등이 있다. 그러나 유등천에 서식하는 감돌고기에 관한 연구는 전무하며, 유등천의 도시화로 인한 수환경 변화는 어류 군집의 변동뿐만 아니라 감돌고기 개체군에 위협이 될 것으로 보인다.

따라서 본 연구에서는 유등천의 어류상 및 어류군집 특성을 밝히고 하천건강성 평가를 통해 유등천의 생태건강성을 평가하였다. 나아가 유등천에 서식하는 감돌고기 개체군의 서식실태를 명확히 밝히고 성숙체장, 개체군 크기 등의 생물, 생태학적 특성을 구명하여 개체군 보전 및 복원을 위한 기초자료로 제시하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사시기 및 조사지점

#### 1) 어류상 조사

어류상 조사는 2018년 10월과 2019년 5월에 2회 수행하였다. 조사지점은 접근성이 용이하고 여울과 소 등 다양한 수환경이 포함되는 12개 정점을 선정하였으며, 조사지점 간 거리는 약 5 km 내외로 설정하였다(Fig. 1). 조사지점의 행정구역 및 GPS 위치는 아래와 같다.

- St. 1: 충청남도 금산군 복수면 곡남리(복수교)  
36°9'34.24"N, 127°23'48.62"E
- St. 2: 충청남도 금산군 복수면 수영리(유등천23보)  
36°9'58.00"N, 127°23'25.00"E
- St. 3: 충청남도 금산군 복수면 백암리(백암교)  
36°11'5.00"N, 127°22'00.45"E
- St. 4: 충청남도 금산군 복수면 신대리(문암교)  
36°13'30.00"N, 127°22'39.00"E
- St. 5: 충청남도 금산군 복수면 지량리(매바위유원지)  
36°14'00.30"N, 127°22'00.40"E
- St. 6: 충청남도 금산군 복수면 지량리(안구만이교)  
36°15'43.64"N, 127°22'55.10"E
- St. 7: 대전광역시 중구 침산동(수련교)  
36°16'6.00"N, 127°23'29.00"E
- St. 8: 대전광역시 중구 목달동(침산교)  
36°16'30.00"N, 127°23'54.00"E
- St. 9: 대전광역시 중구 안영동(안영교)  
36°17'6.00"N, 127°22'49.00"E
- St. 10: 대전광역시 중구 산성동(버드내다리)  
36°18'15"N, 127°22'53"E
- St. 11: 대전광역시 중구 태평2동(가장교)

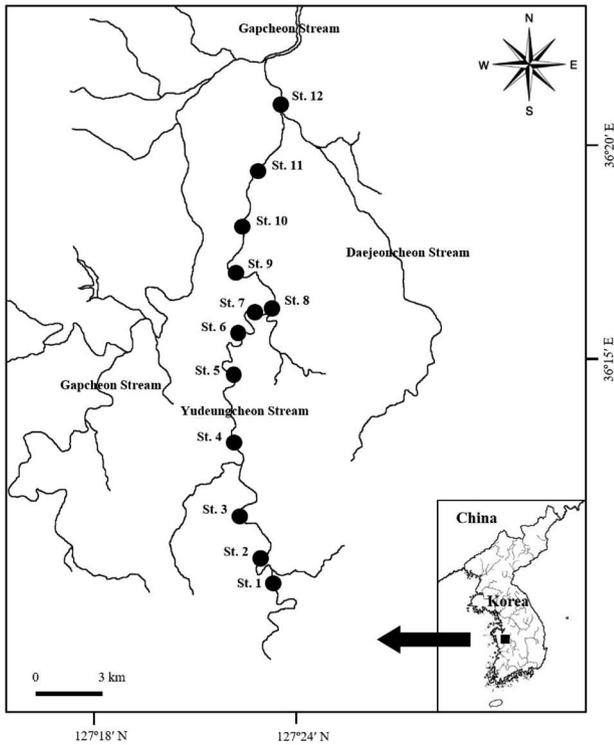


Fig. 1. The survey sites of Yudeungcheon Stream, Korea.

36°19'39"N, 127°23'25"E

St. 12: 대전광역시 서구 둔산3동(유등천2보)

36°21'4"N, 127°24'10"E

## 2) 감돌고기 분포 및 개체군 조사

유등천에 서식하는 감돌고기의 분포범위를 파악하기 위해 2019년 5월에 어류상 조사지점과 감돌고기의 서식이 예상되는 지점을 대상으로 주간 잠수조사를 실시하였다. 또한 같은 시기에 감돌고기가 가장 많이 출현한 수련교(St. 7)에서 성숙연령, 개체군 크기 등을 추정하였다.

## 2. 조사방법

### 1) 조사지 환경 및 어류군집 분석

조사지점의 수환경조사는 5월에 수행하였다. 하폭과 윗폭은 거리측정계(Bushnell Sport 600, USA), 유속은 디지털 유속계(3000-C140, Swiffer Instruments., USA)를 이용하여 측정하였고, 수심은 줄자를 이용하였으며 하상구조는 Cummins(1962)의 방법을 응용하여 구분하였다. 또한 수질측정기(YSI 556MPS, USA)를 사용하여 수온, 전기전도도, 용존산소량, pH를 측정하였다. 어류조사는 조사지점 기준 상류 50m, 하류 50m의 구간에서 족대(망목 4×4

mm, 30분), 투망(망목 6×6 mm, 10회), 낭장망(망목 4×4 mm, 날개길이 10m, 12시간 정치)을 사용하였으며, 채집된 어류는 현장에서 종을 동정하고 계수한 후 방류하였다. 종 동정과 학명은 Kim and Park(2002)을 참고하였으며 분류체계는 Nelson *et al.*(2016)을 따랐다. 각 조사지점에서 출현한 어종과 개체수 자료는 우점종에 의한 자료 편향을 줄이기 위해  $\log(x+1)$ 로 변환한 후 Primer v6.0(PRIMER-E Ltd, UK)을 통해 군집을 분석하였고, 우점도지수, 다양도지수, 균등도지수, 풍부도지수를 산출하였다(Margalef, 1958; Pielou, 1966, 1975; McNaughton, 1967). 군집구조는 Bray-Curtis 유사도지수를 사용하여 도식화하였다.

### 2) 하천건강성 평가

조사지점의 건강성평가는 채집된 어류의 특성을 바탕으로 조사시기별(총 2회)로 8개의 매트릭 값을 계산하여 평균을 산출한 후, 합산하고 어류평가지수(Fish Assessment Index, FAI)를 이용하여 유등천의 건강성을 평가하였다(NIER, 2017). 하천 차수는 축척 1:120,000 지도를 이용하여 Strahler(1957)의 방법에 따라 산출하였고 평가등급은 80.0~100.0은 “매우 좋음”(A), 60.0~79.9는 “좋음”(B), 40.0~59.9는 “보통”(C), 20.0~39.9는 “나쁨”(D), 0.0~19.9는 “매우 나쁨”(E)으로 구분하였다.

### 3) 감돌고기 분포조사

멸종위기야생생물 I급으로 지정된 감돌고기의 조사는 금강유역환경청에서 포획 허가를 받은 후 실시하였다(제2018-35호, 제2019-26호). 분포조사는 각 조사지점에서 수중관찰을 통해 서식 유무를 확인하고 출현 개체수를 기록하였다. 하류에서 상류방향으로 조사하였고 감돌고기가 발견되면 다음 정점으로 이동하였다.

### 4) 성숙연령 및 서식 개체군 크기

감돌고기 개체군 조사는 족대, 투망, 낭장망을 사용하여 실시하였다. 채집된 개체는 현장에서 MS-222로 마취시킨 후 Digital caliper로 전장을 측정하였으며 전장빈도분포법(Ricker, 1971)으로 연령을 추정하였다. 또한 복부압박을 통해 방정과 방란의 유무를 확인하여 성별을 구분하였으며, 서식 개체군의 크기는 표지-재포획 방법 중 Jolly-Seber 방법으로 추정하였다(Jolly, 1965; Seber, 1965). 개체표지는 시기(횟수)별로 감돌고기 지느러미의 일부를 절단하였으며(1차: 우측 배지느러미, 2차: 좌측 배지느러미, 3차: 뒷지느러미), 표지된 개체는 충분히 회복시킨 후 채집된 장소에 방류하였다. 약 7일 간격으로 반복하여 수련교 일대의 개체군 크기를 산정하였으며 식은 다음과 같다.

**Table 1.** Habitat characteristics of the study sites in Yudeungcheon Stream, Korea.

St	Stream order	River width (m)	Water width (m)	Water velocity (m s <sup>-1</sup> )	Water depth (m)	Bottom structure* (%)						WT (°C)	Cond. (µs cm <sup>-1</sup> )	DO (mg L <sup>-1</sup> )	pH
						M	S	G	P	C	B				
1	3	45	21	0.2	0.2~0.5	0	10	40	30	20	0	16.09	245	10.54	8.46
2	3	64	12	0.1	0.5~1.2	0	20	20	40	20	0	16.05	296	10.71	8.36
3	3	78	42	0.3	0.2~0.4	0	0	20	40	30	10	15.68	282	10.00	8.41
4	4	89	29	0.2	0.5~0.8	10	40	30	10	10	0	14.96	259	8.93	8.53
5	4	63	21	0.2	0.2~1.1	0	20	20	40	10	10	16.51	254	8.95	8.46
6	4	45	26	0.2	0.3~1.0	0	10	30	20	30	10	15.12	242	10.49	8.38
7	4	118	28	0.2	0.3~1.0	0	10	10	30	30	20	15.59	236	10.44	7.85
8	4	105	38	0.15	0.5~1.0	10	30	30	10	20	0	15.45	219	12.87	7.83
9	4	100	80	0.15	0.3~1.0	10	30	40	20	0	0	15.20	225	10.07	7.73
10	4	165	79	0.16	0.4~1.0	0	40	20	30	10	0	14.49	227	10.33	7.32
11	4	204	47	0.1	0.2~0.7	0	30	30	20	20	0	15.05	235	9.39	7.95
12	4	275	91	0.1	0.5~1.3	5	20	20	40	10	5	15.1	258	11.49	7.77

\*M: Mud (<0.1 mm), S: Sand (0.1~2 mm), G: Gravel (2~16 mm), P: Pebble (16~64mm), C: Cobble (64~256 mm), B: Boulder (>256 mm) by Cummins (1962)

$$N_t = \beta_t \times C_t / m_t$$

$$\beta_t = K_t \times M_t / R_t + m_t$$

$$S_t = \beta_{t+1} / \beta_t - m_t + M_t$$

$$B_t = N_{t+1} - S_t \times (N_t - C_t + M_t)$$

$$V(N_t) = N_t^2 \times [V(\beta_t) / \beta_t^2 + m_t / m_t^2]$$

$$V(\beta_t) = (\beta_t - m_t^2) \times (\beta_t / \beta_t^2 + R_t^2 / R_t) + m_t$$

( $N_t$  = time t에서 개체군 크기,  $\beta_t$  = time t 직전 표지된 개체수,  $C_t$  = time t에서 채집된 개체수,  $m_t$  = time t 동안 재포획된 총 개체수,  $K_t$  = time t 이후 재포획된 개체수의 합,  $M_t$  = time t = 1과 n - 1에서 표지 방류된 개체,  $R_t$  = time t에서 표지 방류된 개체의 재포획 수,  $S_t$  = time t와 t + 1에서의 생존율,  $B_t$  = time t와 t + 1 사이의 개체군 내 가입,  $V(N_t)$  = 개체군 크기에 대한 분산,  $V(\beta_t)$  =  $\beta_t$ 에 대한 분산)

## 결 과

### 1. 조사지 수환경

조사지점 St. 1~12의 하천 차수는 3~4차 하천으로 나타났고, St. 1~3까지 3차 하천, St. 4~12까지 4차 하천이었다 (Table 1). 하폭과 유폭은 각각 상류에 해당하는 St. 1 (45 m)과 St. 2 (12 m)가 가장 좁았고 최하류인 St. 12가 275 m, 91 m로 가장 넓었다. 유속은 0.1~0.3 m s<sup>-1</sup>로 나타났으며

상류에서 하류로 갈수록 느려지는 경향을 보였다. 하상구조는 St. 1~3, St. 5~7이 돌과 자갈의 비율이 50% 이상으로 높게 나타나 일반적인 하천 중상류역의 특징을 보였으며, 뿌리공원 상류인 St. 8부터 하류로 갈수록 하상입자가 작아지는 양상을 보였다. 수온은 14.49~16.51°C, 전기전도도는 219~296 µs cm<sup>-1</sup>, 용존산소량은 8.93~12.87 mg L<sup>-1</sup>, pH는 7.32~8.53으로 나타났다.

### 2. 어류상과 군집분석

유등천 12개 조사지점에서 채집된 어류는 39종 2,554개체였다 (Table 2). 분류군으로 볼 때 잉어과 어류 26종, 미꾸리과 3종, 메기과 1종, 동자개과 2종, 동사리과 2종, 망둑어과 1종, 쏘가리과 2종, 검정우럭과 2종이 출현하였으며, 전체 우점종은 피라미 (38.96%), 아우점종은 돌고기 (12.53%)로 나타났다. 전체 조사지점에서 8~20종이 출현하였고 하류로 내려갈수록 종이 증가하는 경향을 보였다. 한국고유종은 15종이 출현하여 전체 종의 38.46%로 나타났으며, 외래입종은 배스와 블루길 2종이 St. 7~12에서 출현하였다. 보호종은 멸종위기야생생물 1급 감돌고기가 St. 6~9에서 출현하였다. 전체 조사지역의 우점도지수는 0.40~0.84로 나타났고 St. 6에서 가장 높게 나타났고 St. 4에서 가장 낮게 나타났다 (Table 3). 다양도지수는 1.11~2.42의 범위로 나타났으며 St. 4에서 가장 높았고 St. 6에서 가장 낮게 나타났다. 균등도지수는 0.54~0.85로 나타났고 St. 2에서 0.85로 가장 높았고 St. 6에서 가장 낮게 나타났다. 종 풍부도지수는 1.54~3.80으로 나타났으며 St.

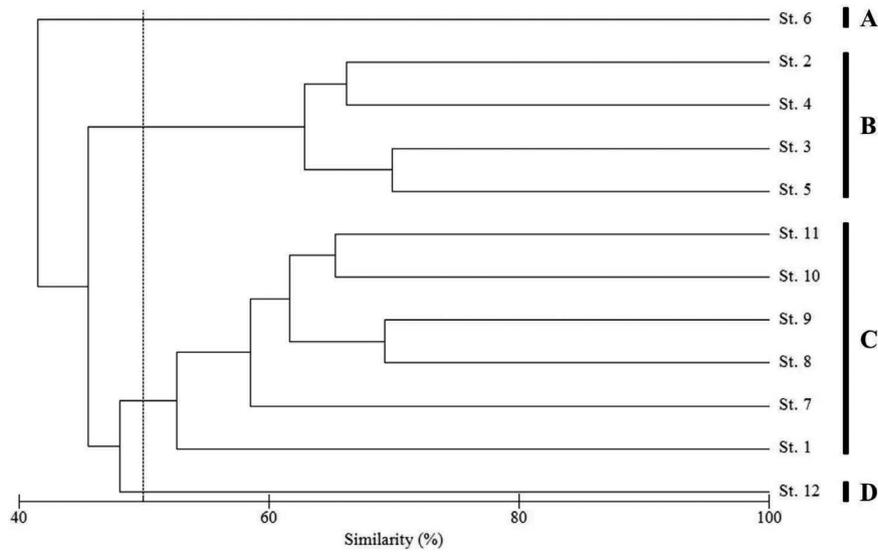
**Table 2.** List of fish collected in Yudeungcheon Stream, Korea.

Scientific name	Sites												Total	RA (%)	Remarks*	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
<b>Cyprinidae</b>																
<i>Cyprinus carpio</i>												2	4	6	0.23	
<i>Carassius auratus</i>	5	2	3	3	2		8					1	2	26	1.02	
<i>Rhodeus ocellatus</i>		6		3										9	0.35	
<i>Rhodeus uyekii</i>				33										33	1.29	Ke
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>		23	33	27	27		3		8	14	1	73	209	8.18		
<i>Acheilognathus koreensis</i>		3		1	3								7	0.27	Ke	
<i>Acheilognathus rhombeus</i>									5	3	2	6	16	0.63		
<i>Acanthorhodeus macropterus</i>										15		74	89	3.48		
<i>Pseudorasbora parva</i>			1	2								8	11	0.43		
<i>Pungtungia herzi</i>	10	4	4	6	101	14	68	16	17	59	12	9	320	12.53		
<i>Pseudopungtungia nigra</i>						3	46	1	1				51	2.00	En, Ke	
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	4	2		2		2	2	3		4	2		21	0.82	Ke	
<i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i>			1	5	9			2				3	20	0.78	Ke	
<i>Gnathopogon strigatus</i>		1	2	3	1					1		21	29	1.14		
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	11	3			1								15	0.59	Ke	
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>												19	19	0.74	Ke	
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>												1	1	0.04	Ke	
<i>Hemibarbus labeo</i>							1	2	5	6	2	7	23	0.90		
<i>Hemibarbus longirostris</i>	2	4	4	5	8		16	2	1	9	1	7	59	2.31		
<i>Pseudogobio esocinus</i>	28	2		3			5	2	6	13	9	13	81	3.17		
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	6						1	4	3	2	3	3	22	0.86	Ke	
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	3	4		1									8	0.31		
<i>Zacco koreanus</i>	41	15	45	8	10		3	13	26				163	6.38	Ke	
<i>Zacco platypus</i>	118	9	90	26	32	50	10	65	190	162	57	171	995	38.96		
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>									1	2			3	0.12		
<i>Erythroculter erythropterus</i>									1				1	0.04		
<b>Cobitidae</b>																
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>								1				1	2	0.08		
<i>Misgurnus mizolepis</i>			4									1	5	0.20		
<i>Iksookimia koreensis</i>	25	2	9	2	7	2	3	2		1			53	2.08	Ke	
<b>Siluridae</b>																
<i>Silurus asotus</i>				1			3						4	0.16		
<b>Bagridae</b>																
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>				3						4			7	0.27		
<i>Pseudobagrus koreanus</i>			10	11	11	3	3	6	17	2	2		65	2.55	Ke	
<b>Odontobutidae</b>																
<i>Odontobutis platycephala</i>			4		1								5	0.20	Ke	
<i>Odontobutis interrupta</i>	2	18	15	4	4		2		2	1	2	1	51	2.00	Ke	
<b>Gobiidae</b>																
<i>Rhinogobius brunneus</i>	2				1		6	5	16	2	3	2	37	1.45		
<b>Sinipercaidae</b>																
<i>Siniperca scherzeri</i>								1					1	0.04		
<i>Coreoperca herzi</i>					14	3	9	2	8	1	3		40	1.57	Ke	
<b>Centrarchidae</b>																
<i>Lepomis macrochirus</i>								7	19			8	34	1.33	Ex	
<i>Micropterus salmoides</i>							1	5	2	1	4		13	0.51	Ex	
Number of individuals	257	98	225	149	232	94	190	139	328	302	107	433	2,554			
Number of species	13	15	14	20	16	8	18	18	18	19	17	20	39			

\*: En: Endangered species, Ex: Exotic species, Ke: Korean endemic species

**Table 3.** Fish community indices at each site of the Yudeungcheon Stream, Korea.

Community indices	Sites											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dominance	0.62	0.42	0.60	0.40	0.57	0.84	0.60	0.58	0.66	0.73	0.64	0.57
Diversity	1.77	2.30	1.85	2.42	1.94	1.11	2.06	2.01	1.69	1.65	1.83	1.98
Evenness	0.69	0.85	0.70	0.81	0.70	0.54	0.71	0.70	0.59	0.56	0.65	0.66
Richness	2.16	3.05	2.40	3.80	2.75	1.54	3.24	3.45	2.94	3.15	3.42	3.13



**Fig. 2.** Dendrogram based on similarity cluster analysis using fish community at each Yudeungcheon Stream, Korea.

4에서 가장 높게 나타났고, St. 6에서 가장 낮게 나타났다. St. 6은 우점도지수가 가장 높았지만 다양도, 균등도, 풍부도지수는 가장 낮은 결과가 나타났는데, St. 6은 하천 내 교각 건설로 하천공사의 영향을 받아 서식처가 교란되어 나타난 결과로 보인다. 유사도 분석 결과 백분율의 50%에서 A, B, C, D의 4개 그룹으로 구분되었는데, 출현종과 개체수가 다른 조사지점에 비해 낮았던 St. 6은 별도의 A 그룹으로 묶였고 조사지점 가운데 상류에 해당하는 St. 2~5가 B 그룹을 형성하였으며, St. 1, St. 7~11이 C 그룹, 최하류에 속하는 St. 12가 D 그룹으로 구분되었다(Fig. 2).

### 3. 하천건강성 평가

유등천 각 조사지점의 어류평가지수(FAI)는 53.1~78.1로 좋음(B)~보통(C)등급으로 나타났고 평균등급은 66.8로 좋음(B)으로 평가되었다(Table 4). 조사지점 중 하천공사의 영향을 받았던 St. 6이 53.1로 가장 낮았고 조사지점

의 상류인 St. 1, St. 5, St. 7이 78.1로 높게 평가되었다. 감돌고기가 출현한 정점(St. 6~9)은 St. 6을 제외하고 모든 정점이 B로 평가되어 수환경이 양호한 것으로 나타났다.

### 4. 감돌고기 분포조사

유등천의 감돌고기는 매바위유원지(St. 5)에서부터 버드내다리(St. 10)까지 약 12 km의 범위에서 출현하였다(Fig. 3). 감돌고기가 출현한 지점의 수환경은 하상에 돌이 많고 슬러지가 없으며 여울과 소가 반복되는 곳이었다. 뿌리공원 상류에서 출현한 개체군은 서식처가 양호하여 관찰이 용이했으나 뿌리공원 하류에서 출현한 개체군은 서식처가 협소하여 흐름이 있는 일부 구간에서만 관찰되었다.

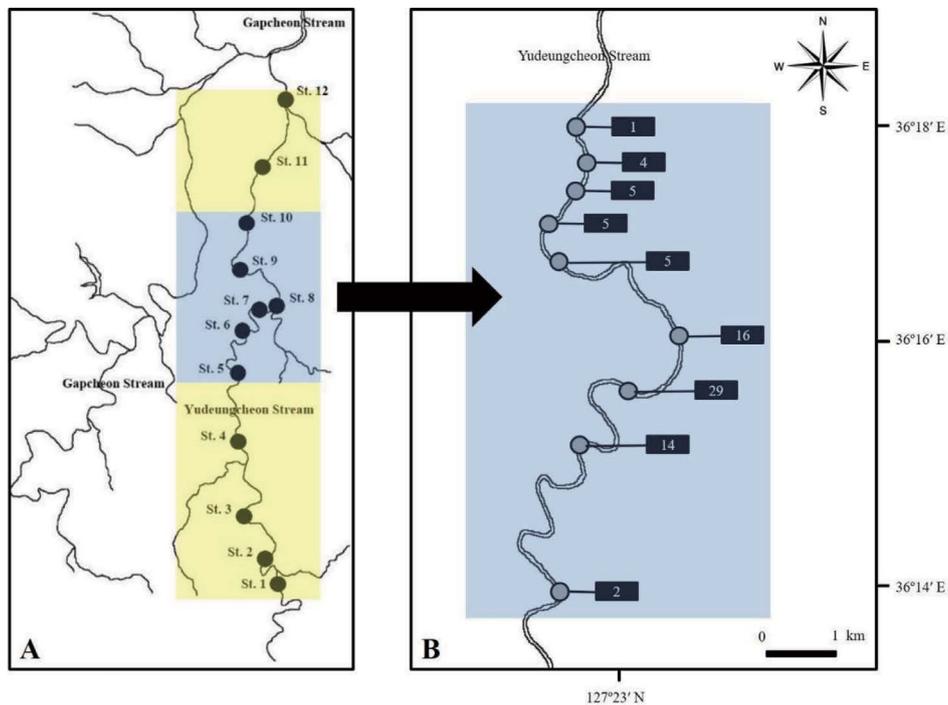
### 5. 성숙연령 및 서식 개체군 크기

산란시기인 5월에 채집된 감돌고기 146개체를 대상으로 연령추정 결과 암컷은 전장 60~76 mm는 만 1년생,

**Table 4.** Values for Fish Assessment Index (FAI) of the Yudeungcheon Stream, Korea.

Parameter*	Sites												Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
M1	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	6.3	9.4	6.3	9.4	9.4	9.4	12.5	10.4
M2	6.3	3.1	6.3	3.1	3.1	3.1	6.3	9.4	6.3	3.1	9.4	3.1	5.2
M3	6.3	6.3	6.3	3.1	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	3.1	3.1	0.0	5.0
M4	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
M5	6.3	6.3	6.3	3.1	9.4	3.1	12.5	9.4	3.1	6.3	3.1	3.1	6.0
M6	12.5	9.4	6.3	6.3	12.5	6.3	12.5	9.4	6.3	6.3	6.3	6.3	8.4
M7	9.4	3.1	12.5	6.3	9.4	3.1	6.3	3.1	9.4	9.4	3.1	12.5	7.3
M8	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	9.4	12.5	12.5	9.4	12.0
Total	78.1	65.6	75.0	59.4	78.1	53.1	78.1	68.8	62.5	62.5	59.4	59.4	66.8
Criteria	B	B	B	C	B	C	B	B	B	B	C	C	B

\*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



**Fig. 3.** This figure represents at survey range (St.1 to St. 12) for the purpose of identifying the distribution range and number of individuals of *Pseudopungtia nigra* in Yudeungcheon Stream, Korea (yellow box: absence, blue box: presence).

82~99 mm는 만 2년생, 100 mm 이상은 만 3년생 이상으로 추정되었고 수컷은 65~77 mm는 만 1년생, 85~97 mm는 만 2년생, 98 mm 이상은 만 3년생 이상으로 추정되었으며 암컷과 수컷의 크기 차이는 없는 것으로 나타났다(Fig. 4). 채집된 최소 전장 암컷(60 mm)과 수컷(65 mm)의 복

부 압박 시 모두 방란과 방정이 원활히 이루어졌으며, 수정 시 발생이 정상적으로 진행되어 만 1년생 이상 개체부터 생식능력을 갖는 것으로 나타났다. 개체군 크기를 추정할 수련교 일대의 조사지의 면적은 5,980 m<sup>2</sup>였다. 조사기간 동안 감돌고기는 총 269개체가 채집되었으며 228개체

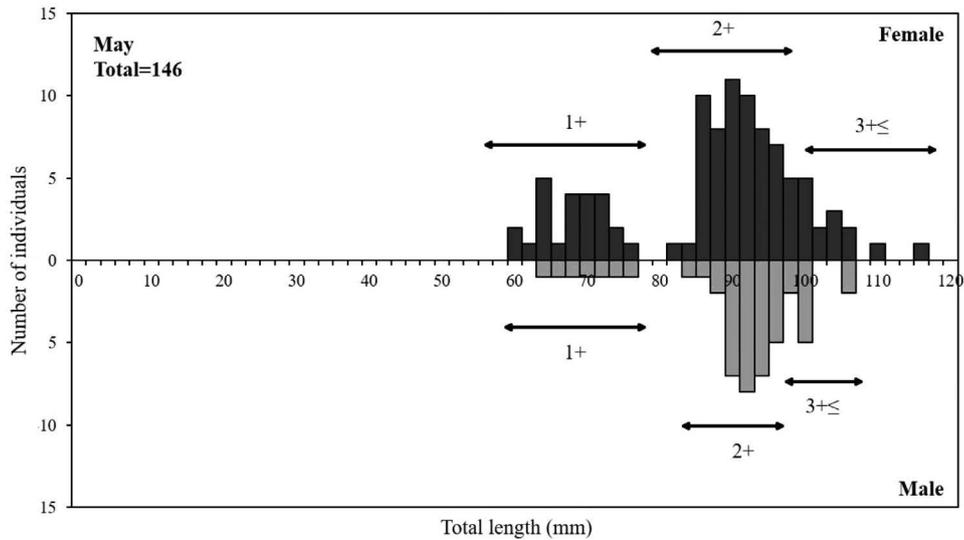


Fig. 4. Total length frequency distribution of *Pseudopungtungia nigra* in Yudeungcheon Stream, Korea.

에 표지를 하였다. 표지 후 재포획된 개체는 각 시기별로 1차 10개체, 2차 4개체, 3차 2개체로 총 16개체로 나타났다. 이를 종합하여 감돌고기의 개체군 크기를 추정할 결과 평균 5,804개체가 서식하는 것으로 나타났고, 95% 유의수준에서 최대 18,473개체까지 서식하는 것으로 추정되었다 (Table 5).

## 고찰

선행연구에서 유등천의 어류는 1987년에 39종(Choi, 1987), 2001년에 26종(Lee, 2001), 2005년에 22종(An et al., 2005), 2012년에 17종(ME, 2012)이 확인되어 본 연구(39종)에 비해 출현종이 점차 감소하였다(Table 6). 선행연구에 따라 각각 조사지점과 조사횟수, 조사방법 등에서 차이가 나기 때문으로 보이며, 특히 본 연구에서 각각의 조사지점마다 낭장망을 사용하였는데 기존의 조사방법(죽대, 투망)과 낭장망을 병행한 조사는 기존의 조사보다 많은 종과 개체수를 확보할 수 있고 야행성 어류와 정수역에 서식하는 어류를 대상으로 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Ko et al., 2019b). 종 조성을 비교해보면 선행 조사에서 출현했지만 본 조사에서 출현하지 않은 종은 뱀장어 *Anguilla japonica*, 떡붕어 *Carassius cuvieri*, 참중고기 *Sarcocheilichthys variegatus wakiyae*, 점물개 *Squalidus multimaculatus*, 왜물개 *Aphyocypris chinensis*, 점줄종개 *Cobitis nalbanti*, 미유기 *Silurus microdorsalis*, 밀자개 *Leiocassis nitidus*, 자가사리 *Liobagrus mediadiposalis*,

승어 *Mugil cephalus*, 송사리 *Oryzias latipes*, 드렁허리 *Monopterus albus*, 풀망둑 *Synechogobius hasta*, 민물검정망둑 *Tridentiger brevispinis*, 버들붕어 *Macropodus ocellatus*, 가물치 *Channa argus* 등 16종이었으며, 이 중 점줄종개와 가물치는 잠수조사를 통해 St. 4에서 확인되었다. 주연성 어종인 승어, 풀망둑과 회유성 어종인 뱀장어는 1987년 이후로 출현하지 않았는데, 1988년에 준공된 금강하구둑과 이후 금강 본류와 지류에 건설된 보와 같은 인공구조물들로 인해 이동성이 차단되어 출현하지 않은 것으로 보인다(Kwon et al., 2001; Lee et al., 2013). 외래입종인 떡붕어는 1987년 이후로 유등천에 도입된 것으로 보이며, 2012년 이후로는 출현하지 않아 낚시꾼들에게 탐문한 결과 출현한다는 정보를 확인할 수 있었고 서식 개체수가 적어 본 조사에서 출현하지 않은 결과로 보인다. 점물개는 선행연구(An et al., 2005)에서 2개체가 출현하였는데 이 종은 동해로 흐르는 일부 하천에서 서식하는 종으로(Kim and Park, 2002), 긴물개나 물개를 오동정한 것으로 보인다. 출현하지 않은 나머지 종들은 본류로 이동하였거나 유등천 내 환경변화나 외래입종으로 인한 영향으로 소멸된 것으로 추정된다. 본 연구에서 신규 출현한 종은 큰납지리 *Acanthorhodeus macropterus*, 강준치 *Erythroculter erythropterus*, 얼룩동사리 *Odontobutis interrupta*, 블루길 *Lepomis macrochirus* 등 4종이었다. 이들은 정수성어종으로 하천공사로 인해 정수역이 넓어지면서 과거에 협소하게 서식하던 종들이 서식구역이 넓어져 출현한 것으로 보인다. 특히 블루길은 St. 8부터 하류까지 폭넓게 분포하였는데, 이 종은 1969년에 내수면 수산자원증식을 위해 일본

**Table 5.** The population size of *Pseudopungtungia nigra* estimated by mark-recapture method (Jolly-Seber method) in Yudeungcheon Stream, Korea.

Date	Survey section (m <sup>2</sup> )	Mark	Capture	Recaptured at time t (Rt)			Total recaptured at time t	Estimated coefficient	Avg. No. of population	Survival rate (%)	Recruitment		Variance and standard error		95% confidence limit	
				1	2	3					V(β)	V(N)	N·SE	Upper		
2019.04.26		M <sub>t</sub>	C <sub>t</sub>	1	2	3	m <sub>t</sub>	K <sub>t</sub>	β <sub>t</sub>	N <sub>t</sub>	S <sub>t</sub>	B <sub>t</sub>	V(β)	V(N)	N·SE	Upper
		88	88				1	9	156	10,781	52	4,774	6,181	145,662,602	12,069	34,919
2019.05.03	5,980	69	69	1			10	3	117	827	0	0	5,778	359,711	600	2,027
2019.05.09		71	71	8	2		5									
2019.05.15		41	41	1	2	2										
Total		228	269	10	4	2	16									18,473
Mean										5,804						

에서 국내로 도입되었으며 이후 전국적으로 확산되어 정착하였다(Kawamura *et al.*, 2006). 이러한 외래입종의 확산과 정착은 생물다양성 감소에 큰 영향을 미치며, 블루길은 잡식성으로 알, 유생을 포함한 다양한 먹이를 가리지 않고 먹는 포식력을 가지고 있어 토착종들에게 큰 피해를 주기 때문에(Azuma, 1992; Marchetti *et al.*, 1999; Blackburn *et al.*, 2011), 유등천에 서식하는 토착종들에게도 영향이 미칠 것으로 보인다.

유등천 내 감돌고기의 출현기록은 Choi (1987)와 ME (2012)에서 보고되었는데, Choi (1987)는 조사지점을 비교할 수 없어 ME (2012)와 비교하였다. ME (2012)는 감돌고기 서식구간은 수련교(St. 7)에서 버드내다리(St. 10)까지 분포한다고 하였고, 수련교보다 상류지점은 감돌고기가 서식하기에 적합하고 꺾기의 출현을 들어 추가 조사가 필요하다고 하였다. 본 조사에서는 잠수조사를 통해 매바위유원지(St. 5) 일대까지 서식하는 것을 확인하였고 그보다 더 상류도 조사하였으나 감돌고기는 출현하지 않았다. 매바위유원지 위쪽은 시가지가 형성되어 있고 하천정비사업과 연속적인 보의 영향으로 곳곳에 정수역이 형성되어 감돌고기 서식에 적합하지 않은 것으로 보인다. 감돌고기는 수심 0.16~0.85 m, 유속 0~0.95 m s<sup>-1</sup>, 호박돌(cobble), 전석(boulder)의 비율이 높은 곳에서 서식하는데(Hur and Kim, 2019), 본 연구에서 감돌고기가 출현한 조사지의 수환경도 이와 유사하였으며, 특히 굵은 하상입자의 비율이 높은 곳에서 감돌고기가 다수 관찰되었다. ME (2012)는 유등천이 많은 하상 교란과 도시화로 오염지역이 넓어지고 있으며, 특히 뿌리공원 상, 하류는 정수화로 감돌고기 서식범위가 축소될 것으로 전망하였다. 뿌리공원 하류 조사지점은 보의 영향으로 대부분이 정수역이었고 유속이 있는 일부 구간에서만 소수의 감돌고기가 출현하였기에 특별한 보호가 요구된다. Han *et al.* (2020)은 조종천의 가는 돌고기 *Pseudopungtungia tenuicorpa* 복원과 흑천의 묵납자루 *Acheilognathus signifer* 복원평가(Ko *et al.*, 2019a) 사례를 들어 멸종위기종 모니터링에서 해당 종의 서식지특징을 고려한 조사지점 선정과 조사방법이 중요하며, 목표종에 맞는 적합한 조사방법을 사용해야 한다고 하였다. 족대, 투망, 낭장망을 이용한 정점조사에서 감돌고기는 St. 6~9에서만 출현한 반면 잠수조사에서 St. 5~10의 더 넓은 구간에서 관찰되었기 때문에 정밀 모니터링 시 직접 관찰이 가능한 잠수조사가 어구를 사용하여 채집하는 것보다 효과적인 것으로 사료된다. 감돌고기의 산란시기는 보통 5~6월로 알려져 있는데(Lee *et al.*, 2004; ME, 2009, 2012), 유등천 개체군도 5월에 포란한 개체가 많았으며 현장의 큰 돌 아래에서 다수의 수정란을 확인하였기에 선행연구

**Table 6.** Temporal variation of ichthyofauna that appeared in Yudeungcheon Stream, Korea from 1987 to 2019.

	Scientific name	Choi (1987)	Lee (2001)	An <i>et al.</i> (2005)	ME (2012)	This study (2019)
Anguillidae	<i>Anguilla japonica</i>	+				
	<i>Cyprinus carpio</i>	+	12	2		6
	<i>Carassius cuvieri</i>		7	18		
	<i>Carassius auratus</i>	+	81	105	2	26
	<i>Rhodeus ocellatus</i>	+				9
	<i>Rhodeus uyekii</i>	+	7			33
	<i>Acheilognathus lanceolatus</i>		6	15		209
	<i>Acheilognathus koreensis</i>	+	1			7
	<i>Acheilognathus rhombeus</i>		11	33	5	16
	<i>Acanthorhodeus macropterus</i>					89
	<i>Pseudorasbora parva</i>		6			11
	<i>Pungtungia herzi</i>	+	42	90	19	320
	<i>Pseudopungtungia nigra</i>	+			27	51
	<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	+	4	37	35	21
	<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>	+			3	
Cyprinidae	<i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i>	+	1	12	1	20
	<i>Gnathopogon strigatus</i>		49	14		29
	<i>Squalidus gracilis majimae</i>		11			15
	<i>Squalidus japonicus coreanus</i>				5	19
	<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>			1		1
	<i>Squalidus multimaculatus</i>			2		
	<i>Hemibarbus labeo</i>	+	4	8		23
	<i>Hemibarbus longirostris</i>	+	72	27	10	59
	<i>Pseudogobio esocinus</i>	+	12	24	9	81
	<i>Microphysogobio yaluensis</i>	+	6	76	15	22
	<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	+	12	3		8
	<i>Aphyocypris chinensis</i>	+				
	<i>Zacco koreanus</i>	+	29	1	56	163
	<i>Zacco platypus</i>	+	280	568	97	995
	<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	+	1	39		3
	<i>Erythroculter erythropterus</i>					1
Cobitidae	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	+	9			2
	<i>Misgurnus mizolepis</i>		4			5
	<i>Iksookimia koreensis</i>	+			20	53
	<i>Cobitis nalbanti</i>	+	6			
Siluridae	<i>Silurus asotus</i>	+				4
	<i>Silurus microdorsalis</i>	+				
Bagridae	<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	+				7
	<i>Pseudobagrus koreanus</i>	+				65
	<i>Leiocassis nitidus</i>	+				
Amblycipitidae	<i>Liobagrus mediadiposalis</i>	+				
Mugilidae	<i>Mugil cephalus</i>	+				
Adrianichthyidae	<i>Oryzias latipes</i>	+				

Table 6. Continued.

	Scientific name	Choi (1987)	Lee (2001)	An <i>et al.</i> (2005)	ME (2012)	This study (2019)
Synbranchidae	<i>Monopterus albus</i>	+				
Odontobutidae	<i>Odontobutis platycephala</i>	+	4		19	5
	<i>Odontobutis interrupta</i>					51
Gobiidae	<i>Synechogobius hasta</i>	+				
	<i>Rhinogobius brunneus</i>	+			7	37
	<i>Tridentiger brevispinis</i>			1		
Sinipercaidae	<i>Siniperca scherzeri</i>	+				1
	<i>Coreoperca herzi</i>	+	5	2	11	40
Belontiidae	<i>Macropodus ocellatus</i>	+				
Channidae	<i>Channa argus</i>	+				
Centrarchidae	<i>Lepomis macrochirus</i>					34
	<i>Micropterus salmoides</i>			1		13
	No. of species	39	26	22	17	39

와 유사하였다. 최소 성숙체장은 본 연구에서 전장 60 mm로 기존 연구결과인 65 mm, 72 mm보다 작았다(Lee *et al.*, 2004; ME, 2009). Kim (1997)은 감돌고기가 만 1년생은 50~70 mm, 2년생은 70~90 mm, 3년생은 100 mm 이상까지 성장한다고 하였는데, 본 연구결과도 이와 유사하였으며, 채집된 개체군의 전장빈도분포로 볼 때 감돌고기는 만 1년생 개체부터 산란에 참여하는 것으로 보인다. 수련교 일대의 감돌고기 개체군은 평균 5,804개체가 서식하며, 최대 18,473개체까지 서식하는 것으로 추정되었다. 표지-재포획법을 이용한 개체군 연구는 자원평가에 매우 중요한 기초자료로 활용되기 때문에(Lucas and Baras, 2000), 수련교 일대의 개체군 크기 변화를 장기적으로 모니터링한다면 유등천 개체군에 대한 효과적인 보전방안을 마련할 수 있을 것으로 사료된다. 수련교 일대에서 출현한 외래입종 배스는 장기적으로 어류군집에 부정적인 영향을 미쳐(Lee *et al.*, 2020), 감돌고기 개체군에도 큰 위협이 될 것으로 보이기 때문에 배스 개체수 조절을 위한 수매사업 및 지속적인 모니터링 등의 노력이 필요할 것으로 보인다. 또한 수련교 일대는 유원지로 활용되고 있으며, 유등천 전체 구간에서 크고 작은 하천공사가 빈번하게 나타나고 있기 때문에 이 일대를 생태계 보전지구로 지정하는 방안을 검토할 필요가 있다. 멸종위협등급평가는 개체군 감소, 지리적 서식범위, 개체군 크기 등의 평가항목을 기준으로 평가하는데(IUCN, 2001), 국내에서는 주로 개체군 감소와 지

리적 서식범위를 기준으로 대상종을 평가하고 있다. 멸종위기종들은 자료가 빈약하여 평가대상종에 대한 기초정보를 얻는 데 어려움이 있기 때문에(Gerber *et al.*, 1999), 본 연구의 개체군 크기추정과 연령, 성숙체장 등의 기초 생물학적 연구는 향후 감돌고기의 멸종위기 범주를 종합적으로 평가하는 데 기여할 것으로 판단된다.

유등천의 하천건강성은 전반적으로 양호한 것으로 판단되지만 하천공사의 영향을 받는 St. 4와 St. 6 외에도 정점간 일부 구간에서 하천공사가 지속적으로 진행되고 있으며 외래입종 배스와 블루길의 확산으로 인해 향후 서식처 교란의 위험이 클 것으로 예상된다. 또한 뿌리공원으로 인해 형성된 광범위한 정수역 구간은 감돌고기 개체군의 상류와 하류의 이동을 단절시켜 개체군이 고립되고 규모가 축소될 것으로 보이기 때문에 지속적인 모니터링을 통한 보전관리방안이 요구된다. 특히 대전 도심지를 지나는 뿌리공원 하류에 서식하는 개체군은 제한된 구간에서 소규모로 출현하기 때문에 출현일대를 보호구역으로 지정하는 적극적인 보호대책이 필요하다고 판단된다.

## 적 요

멸종위기종 감돌고기 *Pseudopungtungia nigra*의 서식양상을 파악하기 위해 유등천 내 12개의 조사지점에서 2018

년 10월과 2019년 5월에 어류군집을 조사하였다. 전체 조사지점에서 39종 2,554개체가 출현하였고 유등천의 하천 건강성은 평균 66.8점으로 “좋음(B)”으로 평가되었다. 고유종은 15종이 출현하였으며 외래입종은 배스와 블루길 2종이 출현하였다. 감돌고기는 매바위유원지에서 버드내다리까지 약 12 km 구간에서 제한적으로 출현하였다. 5월에 채집된 개체군을 전장빈도분포법으로 연령을 추정 한 결과 3개의 그룹을 형성하였고 암컷은 전장 60~76 mm 가 만 1세, 전장 82~99 mm가 만 2세, 전장 100~117 mm가 만 3세 이상으로 나타났다. 최초 성숙 개체는 전장 60 mm 로 만 1세로 나타났다. 수련교 일대에서 Jolly-Seber 방법을 사용하여 개체군 크기를 추정한 결과, 평균 5,804개체가 서식하는 것으로 나타났다. 본 연구는 유등천의 어류군 집 특성을 밝히고 하천건강성을 평가하였으며, 나아가 감 돌고기 개체군의 서식실태, 성숙체장 등의 기초 생태학적 자료를 제공하여 멸종위기종 감돌고기에 대한 보전 및 복 원방안 마련에 기여할 것으로 기대한다.

**저자정보** 광영호 (국립수산과학원 박사 후 인턴연구원), 김강래 (국립낙동강생물자원관 사원), 방인철 (순천향대학교 교수)

**저자기여도** 연구설계: 광영호, 방인철, 현장조사: 광영호, 김강래, 방인철, 자료분석: 광영호, 김강래, 원고작성: 광영 호, 원고 수정 및 검토: 모든 저자

**이해관계** 본 논문은 이해관계 충돌의 여지가 없습니다.

**연구비** 본 연구는 대전 멸종위기종 살리기 사업 (2018 1212, 20190385)과 순천향대학교의 연구비 지원으로 수행 되었습니 다.

## REFERENCES

- An, K.G., J.Y. Lee and H.N. Jang. 2005. Ecological health assessments and water quality patterns in Youdeung Stream. *Korean Journal of Limnological Society* **38**: 341-351.
- Azuma, M. 1992. Ecological release in feeding behavior: the case of bluegills in Japan. *Hydrobiologia* **243**: 269-276.
- Blackburn, T.M., P. Pyšek, S. Bacher, J.T. Carlton, R.P. Duncan, V. Jarošík, J.R.U. Wilson and D.M. Richardson. 2011. A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution* **26**: 333-339.
- Brown, L.R. 2000. Fish communities and their associations with environmental variables, lower San Joaquin River drainage, California. *Environmental Biology of Fishes* **57**: 251-269.
- Choi, K.C. 1987. Nature of Chungnam Province, Freshwater fishes. Korea Foundation for the Advancement of Science and Technology, Jeongmun Publish Co., Seoul. 365pp.
- Cooke, S.J., H.L. Auld, K. Birnie-Gauvin, C.K. Elvidge, M.L. Piczak, W.M. Twardek, G.D. Raby, J.W. Brownscombe, J.D. Midwood, R.J. Lennox, C. Madliger, A.D.M. Wilson, T.R. Binder, C.B. Schreck, R.L. Mclaughlin, J. Grant and A.M. Muir. 2023. On the relevance of animal behavior to the management and conservation of fishes and fisheries. *Environmental Biology of Fishes* **106**: 785-810.
- 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.
- Dudgeon, D., A.H. Arthington, M.O. Gessner, Z.I. Kawabata, D.J. Knowler, C. Lévêque, R.J. Naiman, A.H. Prieur-Richard, D. Soto, M.L.J. Stiassny and C.A. Sullivan. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews* **8**: 163-182.
- Gerber, L.R., D.P. Demaster and P.M. Kareiva. 1999. Gray whales and the value of monitoring data in implementing the US Endangered Species Act. *Conservation Biology* **13**: 1215-1219.
- Gonzalez, L.A., A. Quigg, J.L. Steichen, F.P. Gelwick and L.J. Lester. 2021. A new approach to functionally assess estuarine fish communities in response to hydrologic change. *Estuaries and Coasts* **44**: 1118-1131.
- Han, M.S., K.S. Choi and M.H. Ko. 2020. Has the Restoration Project of *Pseudopungtungia tenuicorpa* (Pisces: Cyprinidae) in the Jojongcheon Stream, Hangang River Failed?. *Korean Journal of Ichthyology* **32**: 182-190.
- Huang, L.L., Z.Q. Wu and J.H. Li. 2013. Fish fauna, biogeography and conservation of freshwater fish in Poyang Lake Basin, China. *Environmental Biology of Fishes* **96**: 1229-1243.
- Hur, J.W. and K.H. Kim. 2019. Evaluation of habitat range and physical habitat of black shinner (*Pseudopungtungia nigra*) from Yongdam to Daecheong Dam in Geum River. *Ecology and Resilient Infrastructure* **6**: 179-190.
- Hwang, D.S., W.O. Lee and J.S. Lee. 2014. Complete mitochondrial genome of the freshwater gudgeon, *Pseudopungtungia nigra* (Cypriniformes, Gobioninae). *Mitochondrial DNA* **25**: 1-2.
- IUCN. 2001. IUCN red list categories and criteria: Version 3.1. IUCN Species Survival Commission. IUCN, ii+30pp.
- Jolly, S.M. 1965. Explicit estimates from capture-recapture data with both death and immigration-stochastic model. *Biometrika* **52**: 225-247.
- Kawamura, K., R. Yonekura, O. Katano, Y. Taniguchi and K. Saitoh. 2006. Origin and dispersal of bluegill sunfish, *Lepomis macrochirus*, in Japan and Korea. *Molecular Ecology* **15**: 613-621.
- Kim, I.S. 1997. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, Vol. 37, Freshwater fishes. Ministry of Education,

- Yeongi, 518pp.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. Freshwater fishes of Korea. Kyohak Publishing, Seoul, 465pp.
- Kim, I.S., S.H. Choi, H.H. Lee and K.H. Han. 2004. Brood parasite of Korean shiner, *Pseudopungtungia nigra* in the Keum River, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **16**: 75-79.
- Kim, K.R., Y.H. Kwak, M.S. Sung, S.J. Cho and I.C. Bang. 2023. Population structure and genetic diversity of the endangered fish black shinner *Pseudopungtungia nigra* (Cyprinidae) in Korea: a wild and restoration population. *Scientific Reports* **13**: 9692.
- Kim, K.S., Y.E. Yun, E.J. Kang, S.G. Yang and I.C. Bang. 2009. Genetic diversity and population structure of the endangered fish *Pseudopungtungia nigra* (Cyprinidae) from the Geum and Mankyung Rivers assessed by amplified fragment length polymorphism. *Korean Journal of Ichthyology* **21**: 76-80.
- 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). *Korean Journal of Ichthyology* **31**: 67-76.
- Ko, M.H., M.S. Han, R.Y. Myung and H.J. Yun. 2019b. 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. *Korean Journal of Ichthyology* **31**: 222-234.
- Kwon, J.N., J.G. Kim and T.S. KO. 2001. The estimation of water quality changes in the Keum River estuary by the dyke gate operation using long-term data. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **34**: 348-354.
- Labonne, J. and P. Gaudin. 2005. Exploring population dynamics patterns in a rare fish, *Zingel asper*, through capture-mark-recapture methods. *Conservation Biology* **19**: 463-472.
- Lee, C.L. 2001. Ichthyofauna and fish community from the Gap Stream water system, Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* **19**: 292-301.
- Lee, D.S., D.Y. Lee, C.W. Ji, I.S. Kwak, S.J. Hwang, H.J. Lee and Y.S. Park. 2020. Impacts of introduced fishes (*Carassius cuvieri*, *Micropterus salmoides*, *Lepomis macrochirus*) on stream fish communities in South Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* **53**: 241-254.
- Lee, H.H., Y. Choi and S.H. Choi. 2014. The best spawning timing in a day and the first spawning position of Korean endangered fish, *Pseudopungtungia nigra* (Teleostei: Cyprinidae). *Korean Journal of Ichthyology* **26**: 11-16.
- Lee, J.H., J.H. Han, B.J. Lim, J.H. Park, J.K. Shin and K.G. An. 2013. Comparative analysis of fish fauna and community structures before and after the artificial weir construction in the mainstreams and tributaries of Yeongsan River watershed. *Korean Journal of Ecology and Environment* **46**: 103-115.
- Lee, S.H., K.H. Han, S.M. Yoon, D.S. Hwang, D.J. Yoo, C.L. Lee, I.S. Kim and Y.M. Son. 2004. Early life history and spawning behavior of *Pseudopungtungia nigra*. *Korean Journal of Ichthyology* **16**: 309-316.
- Lim, H.M., Y. Cho, Y.J. Park, Y.G. Han and S.H. Nam. 2013. A comparative study of insect community at streamside zones at the Daejeon and Yudeung Streams. *Korean Journal of Environment and Ecology* **27**: 30-51.
- Lucas, M.C. and E. Baras. 2000. Methods for studying spatial behaviour of freshwater fishes in the natural environment. *Fish and Fisheries* **1**: 283-316.
- Marchetti, M.P. 1999. An experimental study of competition between the native Sacramento perch (*Archoplites interruptus*) and introduced bluegill (*Lepomis macrochirus*). *Biological Invasions* **1**: 55-65.
- 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). 2009. Culture and restoration research of *Pseudopungtungia nigra*. Inland Culture Research Center, National Institute of Fisheries Science, 47pp.
- ME (Ministry of Environment). 2012. Survey on the habitat status of *Pseudopungtungia nigra* in the Geumgang River. Bio-Monitoring Center, Sejong, 53pp.
- Nelson, J.S., T.C. Grande and M.V.H. Wilson. 2016. Fishes of the world (5th ed). John Wiley and Sons, Canada, 707pp.
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2019. Red data book of republic of Korea (second edition) Volume 3. Freshwater fishes. Ministry of Environment, National Institute of Biological Resources, Incheon, 250pp.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2017. Biomonitoring survey and assessment manual. National Institute of Environmental Research, Incheon, 306pp.
- Pielou, E.C. 1966. Shannon's formula as a measure of diversity: Its Use and Measure. *American Naturalist* **100**: 463-465.
- Pielou, E.C. 1975. Ecological diversity. John Wiley and Sons, New York, 165pp.
- Radinger, J., J.R. Britton, S.M. Carlson, A.E. Magurran, J.D. Alcaraz-Hernández, A. Almodóvar, L. Benejam, C. Fernández-Delgado, G.G. Nicola, F.J. Oliva-Paterna, M. Torralva and E. García-Berthou. 2019. Effective monitoring of freshwater fish. *Fish and Fisheries* **20**: 729-747.
- Ricker, W.E. 1971. Methods for assessment of fish production in freshwaters. IBP hand book, **3**: 112-113.
- Roset, N., G. Grenouillet, D. Goffaux, D. Pont and P. Kestemont. 2007. A review of existing fish assemblage indicators and methodologies. *Fisheries Management and Ecology* **14**: 393-405.
- Roshni, K., C.R. Renjithkumar, G.B. Sreekanth, R. Raghavan and K. Ranjeet. 2023. Fish community structure and

- functional guild composition in a large tropical estuary (Vembanad Lake, India). *Environmental Science and Pollution Research* **30**: 29635-29662.
- Seber, G.A.F. 1965. A note on the multiple-recapture census. *Biometrika* **52**: 249-259.
- Seo, J.W. 2005. Fish fauna and ecological characteristics of dark chub (*Zacco temminckii*) population in the mid-upper region of Gam Stream. *Korean Journal of Limnological Society* **38**: 196-206.
- Song, H.B. 2000. Population ecology of fat minnow, *Rhynchocypris kumgangensis* (Cyprinidae) in Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **12**: 101-110.
- Strahler, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union* **38**: 913-920.
- Wolter, C., J. Minow, A. Vilcinskas and U.A. Grosch. 2000. Long-term effects of human influence on fish community structure and fisheries in Berlin waters: an urban water system. *Fisheries Management and Ecology* **7**: 97-104.