

강릉시 주수천의 어류군집 특징 및 쌀미꾸리 *Lefua costata* (Pisces: Namacheilidae)의 서식지 특징과 연령

한미숙 · 고명훈*

고수생태연구소

Fish Community Characteristics, and Habitat Characteristics and the Age of the Eight Barbel Loach, *Lefua costata* (Pisces: Namacheilidae) in the Jusucheon of Gangneung-si by Mee-Sook Han and Myeong-Hun Ko* (Kosoo Ecology Institute, Seoul 07952, Republic of Korea)

ABSTRACT This study investigated the characteristics of fish communities, habitat characteristics and the age of *Lefua costata* in the Jusucheon of Gangneung-si, Korea from January to December 2013. The survey collected 23 species belonging to ten families from 6 survey stations. The dominant and subdominant species were *Zacco koreanus* (relative abundance, 22.1%) and *Rhynchocypris steindachneri* (20.1%), respectively. The next most abundant species were *Tridentiger brevispinis* (10.7%), *Orthrias nudus* (9.7%), *Zacco platypus* (8.6%), *Lefua costata* (7.9%), *Iksookimia koreensis* (6.0%) and *Pungitius sinensis* (3.0%). Among the fish species collected, one species, *P. sinensis*, was class II endangered wildlife by the Ministry of Environment, and four species (*Z. koreanus*, *I. koreensis*, *Silurus microdorsalis* and *Cottus koreanus*), were endemic to Korea. Additionally, five migration fish species (*Tribolodon hakonensis*, *Hypomesus nipponensis*, *Gasterosteus aculeatus*, *Oncorhynchus keta* and *Plecoglossus altivelis*) were collected. The similarity index based on species composition and numbers separated fish communities in the Jusucheon according to main section, i.e., uppermost (St. 1), upper (St. 2~4), middle (St. 5), lower (St. 6). Ecosystem health of Jusucheon Stream (fish assessment index) evaluated using fish was assessed as very good (5 stations) and good (1 station). The main inhabit of *L. costata* was the middle-lower stream of aquatic plants habitats with mud bottoms, very slow water velocity and water depth 40~80 cm. The age groups for *L. costata* (female) estimated by the frequency distribution of total length in the spawning season (May) indicated that the 24~37 mm is 1-year old, the 38~51 mm group is 2-year old, the 52~63 mm is 3-year old, 64~77 mm is 4-year old and the 80~91 mm is more than 5-year old. Finally, characteristics of fish communities, habitat characteristics and the age of *Lefua costata* in the Jusucheon was discussed.

Key words: Jusucheon, fish community, eight barbel loach, *Lefua costata*, habitat characteristics, age

서론

우리나라 담수어류는 하천생태계에서 먹이사슬 최상위 소비자로서 하천생태계를 대표하고 과거로부터 현재까지 이어진 지질학적 역사로 기인한 어류의 이동 및 종분화, 생태적 상호작용을 통해 현재의 독특한 분포양상을 띠게 되었다(Nishimura, 1974; Kim, 1997; Moyle and Cech, 2000; Yoo *et al.*, 2016). 또한 최근 농경을 위한 치수관리로 보와 저수지, 댐, 하굿둑의 건설, 외래종의 도입, 하천정비공사, 수환경오염 등의 인위적인 요인으로 인해 어류상 및 군집구조에 큰 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Jang *et al.*, 2006; Kwater, 2007; MAFRA, 2010; Ko *et al.*, 2017b). 어류군집 특징은 주로 우점도, 다양도, 균등도, 풍부도 등의 군집분석(Margalef, 1958; Pielou, 1966, 1975;

저자 직위: 고명훈(소장), 한미숙(대표이사)

*Corresponding author: Myeong-Hun Ko Tel: 82-70-7370-6612, E-mail: hun7146@gmail.com

McNaughton, 1967)을 통해 분석되었으나 최근 우리나라에서는 하천에서 채집된 어류를 근거로 하천 건강성을 평가하는 기법이 개발되어 함께 사용되고 있다(MOE, 2007; NIER, 2015, 2019).

주수천은 강원도 강릉시에 위치한 지방2급 하천으로, 유역면적 141.5 km², 유로연장 21.1 km이다(Kwater, 2007). 주수천은 생물지리학적 구분에서 동북한 아지역(Eastnorth Korea subdistrict)과 남한 아지역(South Korea subdistrict)의 경계부에 위치한 독립하천이다(Kim, 1997). 동해안 북부 독립하천들은 연어와 칠성장어 등 회유성 어종과 큰가시고기과, 망둑어과 등 다양한 어류가 서식하는 것으로 보고되고 있으며(Choi et al., 1995; Lee et al., 2010; Ko et al., 2013; Byeon and Oh, 2015), 또한 강원도 동해안 남부지역인 삼척오십천과 가곡천 등은 한강의 어류들이 하천쟁탈 등의 원인으로 자연 이입되어 서식하는 것으로 알려져 있다(Choi et al., 1990; Choi et al., 1995; Kim, 1997; Nam et al., 2002; Kim et al., 2017). 하지만 주수천은 이러한 지리적, 생태적 중요성에도 불구하고 아직까지 단순 어류상 결과만 있을 뿐(NIER, 2011) 주수천 전체의 어류상 및 어류군집 특징에 대해서는 연구되지 않았다.

쌀미꾸리 *Lefua costata*가 속한 종개과(Namacheilidae)는 잉어목(Cypriniformes), 미꾸리상과(Cobitoidea)에 속하며 유라시아와 에티오피아에 현재까지 42속 618종이 보고되었고(Kottelat, 2012; Nelson et al., 2016), 우리나라 종개과에는 쌀미꾸리, 종개 *Barbatula toni*, 대륙종개 *B. nuda* 2속 3종이 서식하고 있다(Kim et al., 2005; Kim and Park, 2007; Chae et al., 2019). 쌀미꾸리속 *Lefua* 어류는 4종이 동북아시아 지역에만 서식하고 있으며(Hosoya, 2019), 본 연구종 쌀미꾸리는 우리나라와 중국, 러시아(시베리아)의 농수로나 늪, 호수의 진흙 바닥에 주로 서식하는 것으로 알려졌다(Choi et al., 1990; Kim et al., 2005; Kim and Park, 2007; Hosoya, 2019; Fishbase, 2020). 쌀미꾸리는 제주도를 포함한 우리나라 전역에 넓게 서식하는 것으로 보고되었으나(Choi et al., 1990), 최근 논경지 정리 및 하천공사, 서식지 파괴 등으로 인해 서식지가 많이 감소한 것으로 보고되었으며, 이러한 원인으로 적색자료집에서는 2011년 준위협종(NT), 2019년은 관심대상종(LC)으로 평가된 바 있다(NIBR, 2011, 2019). 그 외 쌀미꾸리에 대한 연구는 난발생 및 산란기 특징(Park et al., 2020; Kim et al., 2021), 분류학적 연구(Yang et al., 1991; Kim, 2001; Lee, 2011), 간략한 생물학적 특징에 대해서만 보고되었으며(Uchida, 1939; Choi et al., 1990; Kim, 1997), 아직까지 서식지 특징 및 연령 등의 생태적 특징에 대해서는 연구되지 않았다. 최근 하천생태계에 대한 관심이 높아지면서 하천 건강성을 평가하거나(MOE, 2007; NIER, 2015), 하천복원사업(Park et al., 2009; Choi et al., 2011; Lee and Choi, 2015) 및 멸종위기종의 보전학적 연구(MOE, 2009, 2010; MLTM, 2010) 등이 진행되고 있는데, 어류의 종별 서식

지 특징 및 연령 등의 연구는 종의 생태학적 특징을 밝힐 뿐만 아니라 하천생태계 보전의 중요한 자료로 활용되어 왔다.

따라서 본 연구에서는 다양한 어류가 서식할 것으로 추정되는 주수천의 어류상을 조사하여 군집분석 및 하천 건강성 등을 평가하여 어류군집 특징을 밝히고, 나아가 주수천에 집단으로 서식하는 쌀미꾸리의 서식지 특징과 연령 등을 조사하여 생태학적 특징을 밝히고 하천생태계 보전의 기초자료를 확보하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사시기 및 조사지점

주수천의 어류군집 특징을 파악하기 위해 아래와 같이 6개 지점을 선정 후 2013년 봄(4월 23일), 여름(7월 14일), 가을(10월 19일)로 나누어 3회 조사를 실시하였다(Fig. 1). 쌀미꾸리의 서식지 특징 및 연령은 주수천에서 쌀미꾸리가 많이 서식하고 있는 강원도 강릉시 옥계면 남양리(St. 5)에서 2013년 1월부터 12월까지 매월 14~16일 전·후로 조사하였으며, 쌀미꾸리의 서식지 분석은 산란과 장마가 끝나 서식지가 안정화되는 9~10월에 실시하였다.

<조사지점>

St. 1. 강원도 강릉시 옥계면 산계리
(37°35'37.00"N, 128°55'35.00"E)

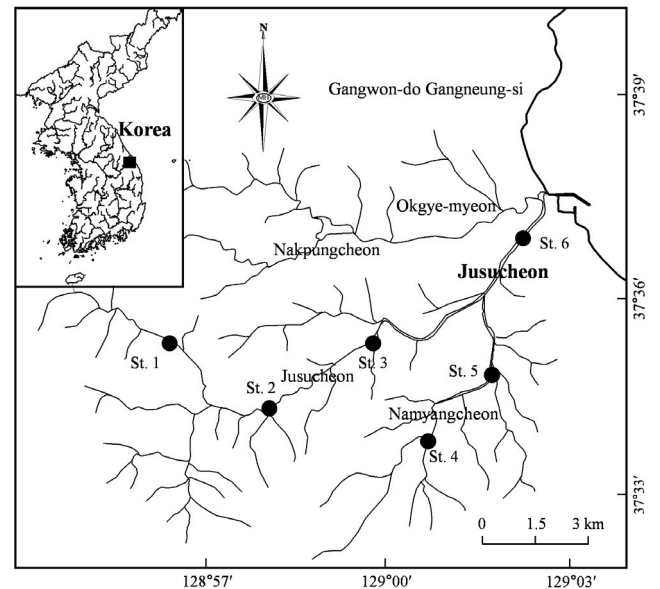


Fig. 1. Study stations of *Lefua costata* in Jusucheon, Okgye-myeon, Gangneung-si, Gangwon-do, Korea. Habitat analysis of *L. costata* was performed in St. 5.

- St. 2. 강원도 강릉시 옥계면 산계리 가새골교
(37°34'26.90"N, 128°57'42.06"E)
- St. 3. 강원도 강릉시 옥계면 산계리
(37°35'23.22"N, 128°59'40.28"E)
- St. 4. 강원도 강릉시 옥계면 남양리 영로교
(37°33'58.39"N, 129°0'47.77"E)
- St. 5. 강원도 강릉시 옥계면 남양리
(37°35'29.99"N, 129°2'2.62"E)
- St. 6. 강원도 강릉시 옥계면 현내리 주수천교
(37°36'54.47"N, 129°2'33.73"E)

2. 서식지 환경

수문학적 환경은 하폭과 유폭, 수심, 하상구조, 하천형, 고도, 하천차수 등을 조사하였는데, 하상구조는 Cummins (1962), 하천형은 Kani (1944)의 방법을 사용하였고, 고도는 Google Earth (Google Earth Pro, USA)의 정보를 이용하였으며, 하천차수(stream order)는 축척 1 : 120,000 기준으로 계산하였다. 이 화학적 환경은 기온과 수온, 전기전도도(Conductivity), 염도(Salinity), pH, 용존산소량(DO, Dissolved Oxygen) 등을 다항목 수질측정기(HI-9828, Romania)와 디지털온도계(T-250A, ASAHI, Japan)를 사용하여 봄(4월), 여름(7월), 가을(10월)로 나누어 12시를 기준으로 측정하였다.

3. 어류의 채집방법

어류의 채집은 투망(망목 6×6 mm)과 족대(망목 4×4 mm)를 사용하였으며, Kim *et al.* (2005)과 Kim and Park (2007) 등에 따라 동정·분류하였다. 채집된 개체는 현장에서 중동정 및 계수 후 즉시 방류하였다. 썩미꾸리의 채집은 족대(망목 1×1, 4×4 mm)를 사용하여 채집하였으며, 채집된 썩미꾸리는 대부분 현장에서 마취제 MS-222 (Sindell, Canada)로 마취한 후 이차성징인 체측 검은 줄무늬가 나타나는 전장분포대를 성어, 나타나지 않는 전장분포대를 치어로 구분하였고, 성어는 체측 검은 줄무늬가 나타나면 수컷, 나타나지 않으면 암컷으로 구분하였으며, 전장(total length, 1 mm)과 체중(body weight, 0.01 g) 등을 측정 후 바로 방류하였다.

4. 군집분석 및 하천 건강성 평가

어류의 군집 특성을 밝히기 위해 우점도(dominance index)와 다양도(diversity index), 풍부도(richness index), 균등도 지수(evenness index)를 산출하였다(Margalef, 1958; Pielou, 1966, 1975; McNaughton, 1967). 군집구조는 지점별 출현 종과 개체수를 근거로 Primer 5.0 (PRIMER E Ltd, UK)을 이용하여 Bray-Curtis 유사도를 계산하여 도식화하였다. 하천 건강성 평

가는 하천 차수(stream order)에 따라 8개의 매트릭(국내 종의 총 종수, 여울성 저서 종수, 민감종수, 내성종의 개체수 비율, 잡식종의 개체수 비율, 국내 종의 총식종 개체수 비율, 채집된 국내 종의 총 개체수, 비정상 종의 개체수 비율)별로 값을 계산한 후 합산하여 어류평가지수(FAI, fish assessment index)를 산출하였다. 산출된 어류생물지수는 “매우 좋음(80~100)”, “좋음(60~80)”, “보통(40~60)”, “나쁨(20~40)”, “매우 나쁨(0~20)”으로 등급을 구분하였다(NIER, 2019).

5. 썩미꾸리의 서식지 특징과 연령추정

1) 서식지 분석

썩미꾸리의 미소서식지 분석은 9~10월 실시하였으며, 전장빈도분포도에 따라 당년생(0+), 1년생(1+), 2년생(2+), 3년생 이상(3+≤)으로 구분하여 서식지 유형 및 수심을 측정하였는데, 서식지 유형은 크게 수초지대(펄, mud)와 큰돌(boulder)-돌(cobble)로 구분하였다. 서식지에 따른 밀도는 족대를 이용하여 0.5 m²의 서식 개체수를 조사하여 파악하였다. 연령에 따른 서식지 및 수심의 통계적 유의성은 SPSS 21.0을 사용하여 일원배치 분산분석(One-way ANOVA, $\alpha=0.05$)을 수행하고 사후분석으로 LSD test를 수행하였다.

2) 성장 및 연령 추정

썩미꾸리의 성장 및 연령은 전장빈도분포법(Ricker, 1971)에 따라 1월부터 12월까지 매달 채집된 치어와 암컷, 수컷으로 구분하여 월별 전장빈도분포도를 도식화하여 추정하였다. 체중성장식은 산란이 끝나 체중이 안정화되는 9월에 채집된 개체의 전장과 체중을 조사하여 작성하였다.

결 과

1. 서식지 특징

주수천의 서식지 환경은 Table 1과 같다. 수문학적 환경에서는 St. 1, 4가 2차 하천으로 하폭 20~40 m, 유폭 10 m 이하로 작았고, St. 2, 3, 5는 3차 하천으로 하폭 40~100 m, 유폭 15~40 m였으며, St. 6은 4차 하천으로 하폭 100~120 m, 유폭 30~50 m로 가장 컸다. 수심은 0.3~1.5 m로 비교적 큰 차이를 보이지 않았고, 고도는 4~222 m 범위로 상류에서 하류로 갈수록 급격히 낮아졌으며, 하천형은 St. 1~4는 상류형(Aa type), St. 5는 중류형(Aa-Bb type), St. 6은 하류형(Bc type)이었다. 하상구조는 St. 1~4가 큰돌과 돌의 비율이 70~90%로 매우 높았고, St. 5, 6은 돌, 큰돌, 자갈(pebble), 모래(sand), 잔자갈(gravel), 펄 순으로 높게 나타났다. 이화학적 환경에서 수온은 상류지점(St. 1~4)이 하류지점(St. 5~6)보다 2~5°C가 낮았고, 용존산소량

Table 1. Physicochemical and hydrological environments at the study stations in Jusucheon, Okgye-myeon, Gangneung-si, Gangwon-do, Korea from April to October, 2013

Items	Stations						
	1	2	3	4	5	6	
River width (m)	20~25	40~50	80~100	30~40	50~60	100~120	
Water width (m)	3~5	15~20	20~30	5~10	20~40	30~50	
Water depth (m)	0.3~0.7	0.5~1.5	0.3~1.0	0.3~1.0	0.5~1.2	0.3~1.5	
Altitude (m)	222	111	55	88	28	4	
River types*	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa-Bb	Bb-Bc	
Stream order	2	3	3	2	3	4	
Bottom substratum (%)**	M				10	5	
	S				20	5	
	G				10	10	
	P	10	10	10	20	20	20
	C	30	40	40	50	30	40
	B	60	50	50	20	20	20
Water temperature (°C)	11.5~20.5	13.2~26.2	13.2~26.6	12.8~23.8	13.7~20.6	11.9~25.5	
Conductivity (µs/cm)	115~185	202~320	210~360	123~222	123~229	190~426	
Salinity (psu)	0.06~0.12	0.13~0.15	0.13~0.17	0.07~0.11	0.07~0.14	0.12~0.20	
DO (mg/L)	7.6~11.2	7.55~11.0	7.28~11.6	7.1~11.2	9.8~10.7	6.9~11.6	
pH	6.3~7.6	6.3~7.6	6.4~7.6	6.4~7.1	7.2~7.7	6.5~7.9	
Etc***	W				W	W, RW	

*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: disturbance of habitat by river work.

과 pH는 전체적으로 비교적 유사하였다. 전기전도도와 염도는 St. 2, 3, 6이 St. 1, 4, 5보다 각각 100~200 µs/cm, 0.03~0.06 psu가 높게 나타났다.

2. 주수천 어류군집 특성

1) 어류상

주수천의 6개 지점을 3회 조사한 결과 10과 23종 2,036개체가 채집되었다(Table 2). 지점별로 보면, St. 1이 3종으로 가장 적었고, St. 2~4는 4~5종, St. 5는 10종, St. 6은 18종으로 하류로 갈수록 종수가 급격히 증가하였다. 출현종 중 우점종은 참갈겨니 *Zacco koreanus* (22.1%), 아우점종은 버들개 *Rhynchocypris steindachneri* (20.1%), 그 다음으로 민물검정망둑 *Tridentiger brevispinis* (10.7%), 대륙종개 *Orthrias nudus* (9.7%), 피라미 *Zacco platypus* (8.6%), 쌀미꾸리 *Lefua costata* (7.9%), 참종개 *Iksookimia koreensis* (6.0%), 가시고기 *Pungitius sinensis* (3.0%) 등의 순으로 우세하였다. 환경부지정 멸종위기 야생생물은 가시고기 1종이 St. 5~6에서 채집되었고, 한국고유종은 참갈겨니, 참종개, 미유기 *Silurus microdorsalis*, 독종개 *Cottus koreanus* 4종이, 회유성 어종으로 소하성 어종은 황어 *Tribolo-*

don hakonensis, 빙어 *Hypomesus nipponensis*, 큰가시고기 *Gasterosteus aculeatus*, 연어 *Oncorhynchus keta* 4종이, 양측회유성 어종으로 은어 *Plecoglossus altivelis* 1종이 채집되었다.

2) 군집분석 및 구조, 하천 건강성 평가

우점도는 St. 1이 0.99로 가장 높았고 하류로 가면서 낮아져 St. 5~6은 0.52~0.54였다. 다양도와 풍부도는 반대로 St. 1이 각각 0.66, 0.41로 가장 낮았고 하류로 가면서 높아져 St. 6이 각각 2.24, 2.67로 가장 높았다. 균등도는 0.60~0.86의 범위를 보였는데, St. 1이 가장 낮고 St. 3이 가장 높았다. 군집구조는 Fig. 2와 같이 최상류(St. 1) 및 상류(St. 2~4), 중류(St. 5), 하류(St. 6)로 구분되었다. 어류평가지수를 통해 하천 건강성을 평가한 결과, 6개 지점 중 5개 지점이 매우 좋음, 1개 지점(St. 2)이 좋음으로 평가되어 전체적으로 주수천의 건강성은 매우 좋은 것으로 나타났다(Table 3).

3. 쌀미꾸리의 개체군 특성

1) 서식지 특징

주수천 6개 지점 조사 결과, 쌀미꾸리는 중·하류 지역인 St.

Table 2. List of fish species and number of fish collected in Jusucheon, Okgye-myeon, Gangneung-si, Gangwon-do, Korea from April to October, 2013

Scientific and Korean name	Stations						Total	RA* (%)	Etc**
	1	2	3	4	5	6			
Cyprinidae 잉어과									
<i>Carassius auratus</i> 붕어						3	3	0.15	
<i>Zacco platypus</i> 피라미					80	95	175	8.60	
<i>Zacco koreanus</i> 참갈겨니		100	100	35	215		450	22.10	E
<i>Rhynchocypris steindachneri</i> 버들개	92	65	40	90	123		410	20.14	
<i>Tribolodon hakonensis</i> 황어						38	38	1.87	An
Namacheilidae 종개과									
<i>Lefua costata</i> 쌀미꾸리					150	11	161	7.91	
<i>Orthrias nudus</i> 대륙종개	43	18	82	40	14		197	9.68	
Cobitidae 미꾸리과									
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> 미꾸리					18	1	19	0.93	
<i>Iksookimia koreensis</i> 참종개			19	10	86	7	122	5.99	E
Siluridae 메기과									
<i>Silurus microdorsalis</i> 미유기		1					1	0.05	E
Osmeridae 바다빙어과									
<i>Plecoglossus altivelis</i> 은어						53	53	2.60	Di
<i>Hypomesus nipponensis</i> 빙어						1	1	0.05	An
Salmonidae 연어과									
<i>Oncorhynchus keta</i> 연어						40	40	1.96	An
Gasterosteidae 큰가시고기과									
<i>Gasterosteus aculeatus</i> 큰가시고기						2	2	0.10	An
<i>Pungitius sinensis</i> 가시고기					7	53	60	2.95	En-II
Cottidae 독중개과									
<i>Cottus koreanus</i> 독중개	1						1	0.05	E, L
Gobiidae 망둑어과									
<i>Gymnogobius breunigii</i> 날망둑						2	2	0.10	
<i>Gymnogobius urotaenia</i> 꼭저구					2	30	32	1.57	
<i>Gymnogobius opperiens</i> 무늬꼭저구						15	15	0.74	
<i>Gymnogobius petschiliensis</i> 검정꼭저구						3	3	0.15	
<i>Rhinogobius brunneus</i> 밀어			15		13	5	33	1.62	
<i>Tridentiger brevispinis</i> 민물검정망둑						217	217	10.66	
Channidae 가물치과									
<i>Channa argus</i> 가물치						1	1	0.05	
Number of species	3	4	5	4	10	18	23		
Number of individuals	136	184	256	175	708	577	2,036		

*RA: Relative abundance (%), **E: Korean endemic species, En-II: Endangered species II, L: Land-locked form, An: Andromous species; Di: Diadromous species.

5~6에서만 서식하였는데, 특히 St. 5는 큰 집단을 형성하며 서식하고 있었다. 미소서식지를 조사한 결과 수초지대(필)에서 231개체 (94.7%, n=17), 큰돌-돌에서 13개체 (5.3%, n=4)가 채집되어 수초지대(필)에서 보다 많은 개체가 서식하고 있었고, 또한 서식밀도도 수초지대(필) 13.6개체/0.5 m² (n=17), 큰돌-돌 2.6개체/0.5 m² (n=4)로 수초지대(필)가 큰돌-돌보다 5.2배가 높은 것으로 나타났다. 수초 지대의 수생식물은 침수식물

인 검정말 *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle, 정수식물인 물냉이 *Nasturtium officinale* R.Br., 고마리 *Persicaria thunbergii* (Siebold & Zucc.) H. Gross 등이었는데, 특히 검정말은 수심 40~80 cm에 밀생하고 있었으며 쌀미꾸리가 검정말 속에서 집단으로 서식하고 있었다.

연령별 미소서식지를 분석한 결과(Fig. 3), 당년생 치어(0+)는 모두 수초 지대(필)에 서식하였고(121개체) 1년생 이상

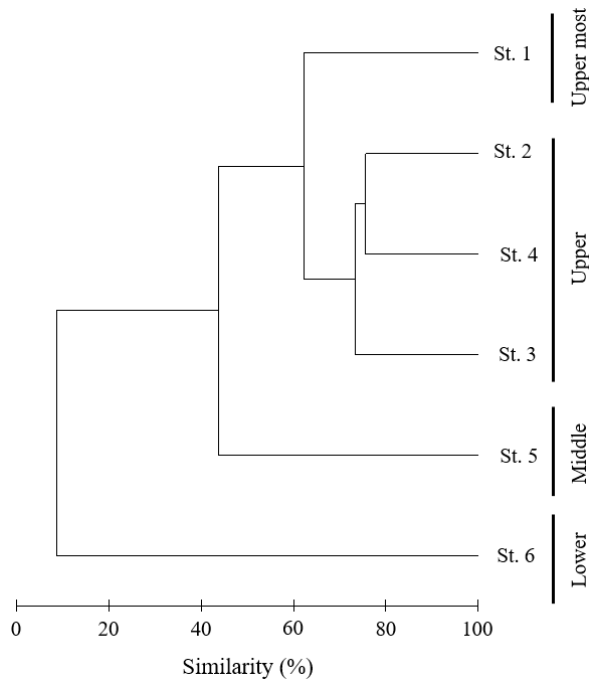


Fig. 2. Dendrogram for the cluster analysis based on similarity index of the fish species found among the stations in Jusucheon, Okgye-myeon, Gangneung-si, Gangwon-do, Korea from April to October, 2013.

Table 3. Community indices and fish assessment index (FAI) in Jusucheon, Okgye-myeon, Gangneung-si, Gangwon-do, Korea from April to October, 2013

Index	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	
Community	Dominance	0.99	0.90	0.71	0.74	0.52	0.54
	Diversity	0.66	0.95	1.38	1.16	1.80	2.24
	Evenness	0.60	0.69	0.86	0.84	0.78	0.77
	Richness	0.41	0.58	0.72	0.58	1.37	2.67
Fish assessment index (grade)	81.3 (A)	75.0 (B)	81.3 (A)	81.3 (A)	87.5 (A)	81.3 (A)	

(1+~3+≤)은 수초 지대(필)와 큰돌+돌에 함께 서식하고 있었는데, 수초지대(필)에 채집된 개체는 1년생은 73개체(1년생 전체 94.5%), 2년생 83개체(2년생 전체 86.7%), 3년생 이상 30개체(3년생 전체 80.0%)로 수초지대(필)의 비율이 매우 높았으며, 연령이 높아지면서 수초지대(필)의 비율이 조금씩 하락하는 경향을 보였다. 수심은 당년생이 63.3±13.3 cm, 1년생이 59.0±14.7 cm, 2년생이 58.4±15.9 cm, 3년생 이상이 59.1±14.8 cm로 평균값은 거의 유사하였고, 통계적 유의성은 당년생과 1년생(One-way-ANOVA, P=0.046), 당년생과 2년생(P=0.019)은 약간의 유의한 차이를 보였으나 그 외에는 유의한 차이를 보이지 않았다(P>0.05).

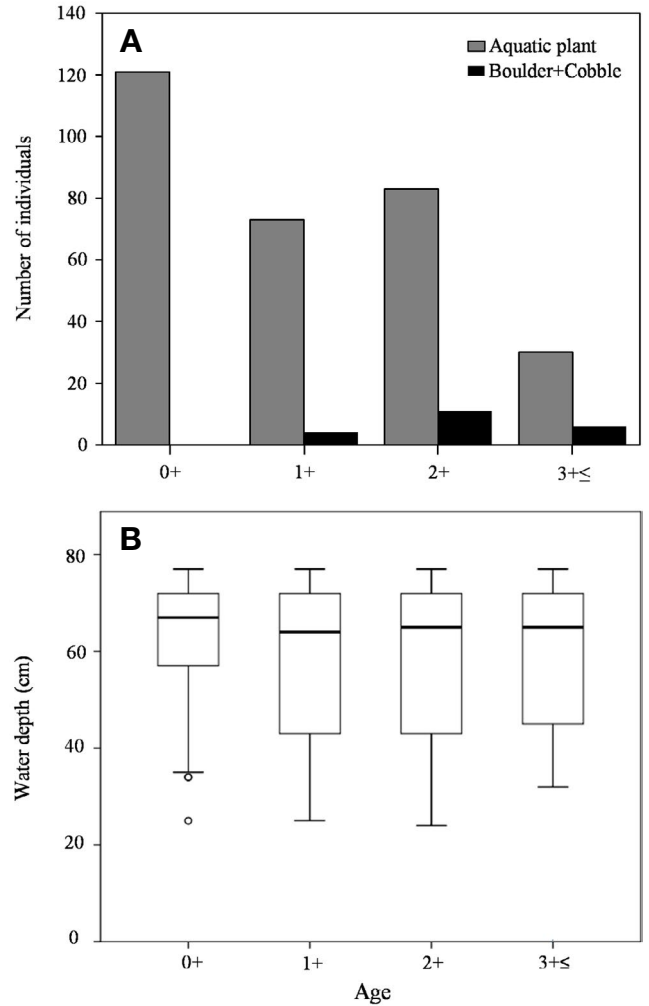


Fig. 3. Comparison of micro habitat (A) and water depth by age (B) of *Lefua costata* in Jusucheon, Okgye-myeon, Gangneung-si, Gangwon-do, Korea from September to October, 2013. The diagrams indicate the median (horizontal line) and 50% range (rectangle). Open circle indicate potential outlier.

2) 성장 및 연령 특징

쌀미꾸리의 당해연도에 태어난 치어는 6월에 전장 10~21 mm로 처음 채집되었고, 이후 7월 10~33 mm, 8월 7~35 mm, 9월 16~39 mm, 10월 18~43 mm로 성장하였으며 11월부터 12월까지의 수온이 내려가면서 큰 변화가 없었다. 3월의 전장 24~37 mm의 치어는 5월 24~39 mm, 7월 34~49 mm, 9월 40~49 mm로 급격한 성장을 보인 후 점차 둔화되었으며, 7월 이후부터 수컷 체측에 검은 줄이 나타나면서 암·수가 구별되었다. 3월의 전장 38~49 mm 연령군은 5월 38~51 mm, 7월 50~63 mm, 9월 50~59 mm로 급격한 성장을 보인 후 점차 둔화되었다. 3월의 전장 50~59 mm 연령군도 동일하게 9월까지의 비교적 빠른 성장을 보였으나 이후 점차 둔화되었다.

산란이 시작되는 5월을 기준으로 연령을 추정하면, 암·수

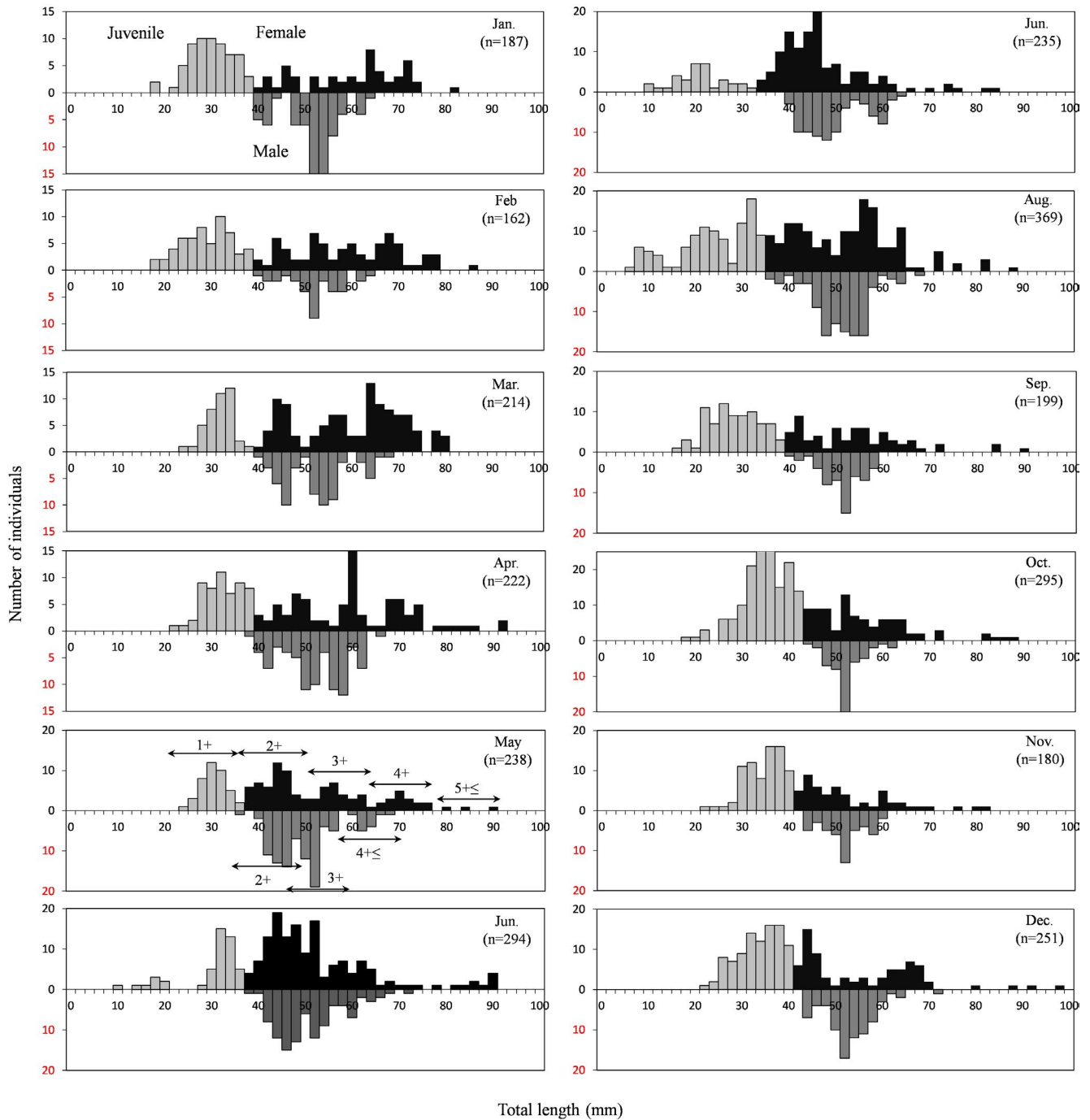


Fig. 4. Total length frequency distribution of *Lefua costata* in Jusucheon, Okgye-myeon, Gangneung-si, Gangwon-do, Korea from January to December, 2013.

가 구별되지 않는 전장 24~37 mm는 만 1년생, 암컷의 38~51 mm는 만 2년생, 52~63 mm는 만 3년생, 64~77 mm는 만 4년생, 80~91 mm는 만 5년생 이상으로, 수컷의 36~47 mm는 만 2년생, 48~57 mm는 만 3년생, 60~70 mm는 만 4년생 이상으로 추정되었으며, 성장은 암컷이 수컷보다 크게 성장하

여 전장 10~20 mm가 더 컸다(Fig. 4). 9월에 채집된 개체의 전장과 체중과의 관계를 조사한 결과, 수컷은 $y = 3E-05x^{2.7509}$ ($R^2 = 0.9957$), 암컷은 $y = 2E-05x^{2.7836}$ ($R^2 = 0.9967$)으로 나타났다(Fig. 5).

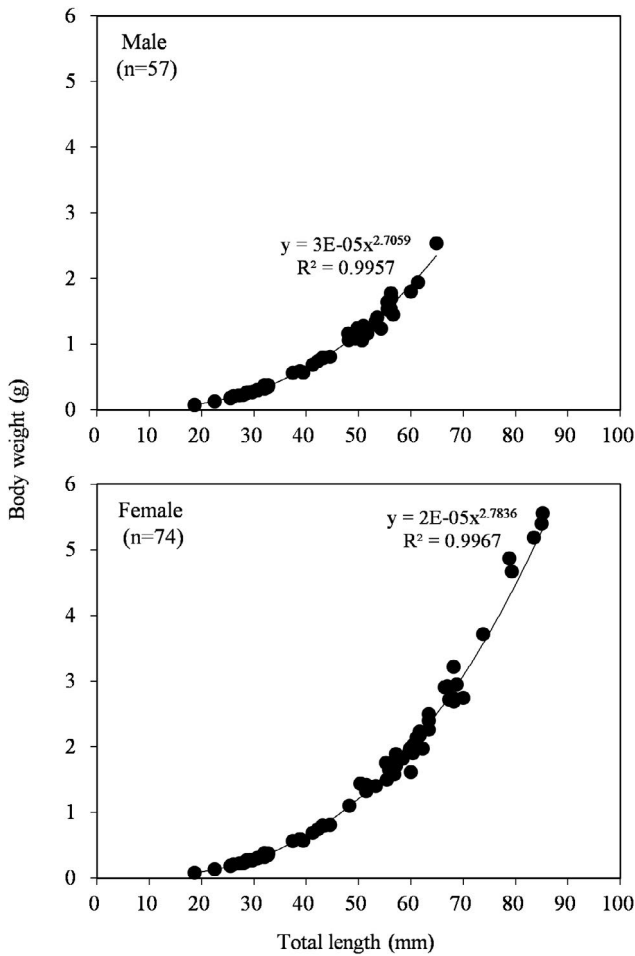


Fig. 5. Relationship between total length and body weight *Lefua costata* in Jusucheon, Okgye-myeon, Gangneung-si, Gangwon-do, Korea, September, 2013.

고찰

주수천의 어류상 특징은 크게 생물지리학적 경계와 다양한 어류의 서식(회유성, 큰가시고기과, 망둑어과 어류) 그리고 한강 어류의 자연이입으로 인한 서식이 있다. 첫 번째, 주수천은 담수 어류의 생물지리학적으로 시베리아구의 동북한 아지역과 중국 아구의 남한 아지역의 경계에 위치하고 있는데(Kim, 1997), 동북한 아지역의 대표종인 버들개는 본 조사에서 폭넓게 서식하는 것으로 나타나 동북한 아지역의 분포 시작점으로 판단되었다. 반면 또 다른 동북한 아지역 대표종인 북방종개는 서식하지 않은 것으로 나타났는데, Ko *et al.* (2019)은 북방종개의 분포를 강릉시 군선천부터 휴전선까지로 보고하면서 일부 주수천과 전천, 삼척오십천의 출현기록(Choi, 1986; NIER, 2007-2015)은 오동종의 가능성을 제기한 바 있어, 동북한 아지역의 대표종 버들개와 북방종개의 분포 시작지역에 차이가 있는 것으로 판단

되며 추후 이러한 원인에 대해서는 추가 연구가 필요하다고 생각된다. 두 번째, 강원도 동해안 하천들은 공통적으로 다양한 어류인 회유성 어종과 큰가시고기과, 망둑어과가 서식하는 것으로 보고되고 있는데(Choi *et al.*, 1995; Lee *et al.*, 2010; Ko *et al.*, 2013; Byeon and Oh, 2015), 본 조사에서는 회유성 어종으로 소하형 어류인 연어, 황어, 빙어, 큰가시고기, 양측회유성 어류인 은어 등 5종이, 큰가시고기과 어류는 가시고기와 큰가시고기 2종이, 망둑어과 어류는 날망둑, 꼭저구, 무늬꼭저구, 검정꼭저구, 밀어, 민물검정망둑 6종이 서식하고 있어 주목되었다. 세 번째, 강원도 동해안 남부의 삼척오십천, 가곡천, 마음천, 전천 등에서는 하천쟁탈 또는 석회동굴 등의 원인으로 한강 상류에 서식하는 어류가 자연이입되어 서식하는 것으로 보고되고 있는데(Choi *et al.*, 1990; Choi *et al.*, 1995; Kim, 1997; Nam *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2017), 본 조사 결과에서는 최상류에 독종개개, 중·하류에는 참종개개 유입되어 서식하고 있었으며, 특히 참종개개는 비교적 서식지역이 넓고 개체수도 많았다. 주수천 이외에도 동해로 흐르는 하천 중 독종개개는 삼척오십천, 양양남대천, 배봉천 등에, 참종개개는 전천, 삼척오십천, 마음천, 가곡천, 강릉남대천 등에 유입되어 서식하는 것이 보고되었다(NIBR, 2019). 이중 강릉남대천에 서식하는 참종개개는 유역변경식 맴인 도암댐의 영향으로 한강에서 새미와 금강모치 등과 함께 유입된 것으로 보고되어(Byeon and Oh, 2015) 도입 원인에 차이를 보였다.

본 조사에서 출현한 법정보호종은 가시고기 1종으로 St. 5~6에 비교적 많은 개체수가 서식하고 있어 주목되었는데, 가시고기는 적색자료 평가에서 2011년과 2016년, 2019년 모두 취약(VU)으로 평가되어 멸종위협등급에 포함되었고, 하천정비공사, 골재채취, 수질오염 등의 원인으로 서식지역이 감소하는 것으로 보고되었다(NIBR, 2011, 2019; Ko, 2016). 또한 본 조사에서는 확인되지 않았으나 2017년 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급의 소하성 어류인 칠성장어가 하류인 St. 6에 소상하여 산란하는 모습이 촬영된 바 있어 주목되었다(G1TV, 2017). 칠성장어는 과거 우리나라 동해안 전역과 남해안의 낙동강, 섬진강 일대에도 서식하는 것으로 보고되었으나(Choi *et al.*, 1990; Kim, 1997; Kim and Park, 2007; NIBR, 2011), 최근에는 서식지가 급격히 감소하여 동해안의 극히 일부 하천에서만 출현하는 것으로 보고되고 있고(NIBR, 2019), 적색자료집의 멸종위협평가에서는 여울부의 소실, 수질오염, 하천개발 등의 원인으로 2011년, 2019년 모두 위기(EN)로 평가되었다(NIBR, 2011, 2019).

주수천은 군집구조에서 크게 최상류 및 상류(St. 1~4), 중류(St. 5), 하류(St. 6)으로 구분되었으며, 중수는 최상류 및 상류가 3~5종, 중류 10종, 하류 18종으로 하류로 가면서 급격히 중수가 증가하고 다양도와 풍부도가 증가하는 경향을 보였다. 이러한 원인은 회유성 어종 및 기수역에 서식하는 망둑어과와 큰가시고기과 어류가 많이 서식하기 때문이었다. 하천 건강성 평가

Table 4. Comparisons of habitat and age among Namacheilidae species in Korea

Items	Species	<i>Lefua costata</i>		<i>Barbatula toni</i>	<i>B. nuda</i>
		Female	Male		
Water velocity (cm/sec)	Juvenile (0 +)	Very slow		37.6 ± 26.79	42~143
	Adults (1 + ~)	Very slow		13.3 ± 17.33	
Habitat Water depth (m)	Juvenile (0 +)	63.3 ± 13.3		13.3 ± 9.47	15~46
	Adults (1 + ~)	58.8 ± 15.14		25.9 ± 10.31	
Bottom substratum (cm)	Juvenile (0 +)	Aquatic plant (mud)		Pebble (9.5 ± 6.66)	Cobble and boulder
	Adults (1 + ~)	Aquatic plant (mud)		Cobble and boulder (18.0 ± 7.63)	
Age	1 +	24~37	24~37	60~81	58~99
	2 +	38~51	36~47	82~99	100~120
	3 +	52~63	48~57	100~119	
	4 +	64~77	60~70	120~140	
	5 + ≤	80~91			
Reference		Present study		Ko (2017), Jeon and Ko (2021)	Byeon (2010)

에서 St. 2 (B등급)를 제외하고 모두 매우 좋음(A등급)으로 평가되어 하천 건강성은 전체적으로 좋은 것으로 판단되었다. 하지만 수질에 있어 전기전도도가 분류 구간(St. 2, 3, 6)에서 매우 높게 나타나고 어류의 소상을 방해하는 보의 설치는 어류의 서식 및 이동에 교란요인으로 판단되었다. 따라서 주수천 하류부는 멸종위기종 가시고기와 칠성장어의 서식과 다양한 회유성 어류 및 기수성 어류 등이 서식하기 때문에 서식지 보호구역 지정 등 지속적인 관심과 적극적인 서식지 보호가 필요하다고 판단된다.

쌀미꾸리의 서식지 및 연령 특징은 같은 종개과에 속하는 어류와 비교하였다(Table 4). 쌀미꾸리 서식지는 주로 수심이 얇고 유속이 느리며 수초가 많은 호수나 늪, 농수로의 진흙바닥에 서식하는 것으로 알려졌는데(Kim, 1997; Kim and Park, 2007), 본 조사에서도 대부분 하천 하류의 유속이 느리고 수초가 많으며 하상은 펄로 이루어진 곳에 주로 서식하여 동일하였다. 종개과의 종개와 대륙종개는 모두 유속이 비교적 빠르고 하상이 돌과 큰돌로 이루어진 곳에 서식하는 것으로 보고되어(Byeon, 2010; Ko, 2017) 쌀미꾸리와 큰 차이를 보였다. 또한 쌀미꾸리는 본 조사로 당년생 치어와 성어(1년생 이상)의 유속과 수심, 하상에 차이가 거의 없는 것으로 나타났으나, 종개는 당년생 치어와 성어(1년생 이상)의 미소서식지에 큰 차이를 보이는데, 당년생 치어는 유속이 빠르나(37.6 ± 26.79 cm/sec) 수심이 얇고(13.3 ± 9.47 cm) 자갈 바닥(9.5 ± 6.66 cm)에 주로 서식하는 반면 성어는 유속이 비교적 느리고(13.3 ± 17.33 cm/sec) 수심은 비교적 깊으며(25.9 ± 10.31 cm) 돌과 큰돌(18.0 ± 7.63 cm)에 서식하여 서식지 차이를 보이는 것으로 보고되어(Ko, 2017) 차

이를 보였다.

종개과 어류의 연령은 종개속과 *Metaschistura*속에 대해서만 보고되었는데, 종개는 4개(Ko, 2017), 대륙종개는 2개(Byeon, 2010), *B. barbatula* 4개(Erös, 2001), *Metaschistura cristata*는 3~5개 연령군(Smyly, 1955; Sauvonsaari, 1971; Mills *et al.*, 1983)으로 보고되었으며, 암·수에 특별한 성적이형 및 크기 차이는 없는 것으로 보고되었다. 쌀미꾸리는 5개의 연령군으로 나타나 비교적 종개와 *B. barbatula*, *M. cristata*와 비교적 유사하였으나 암·수의 성적이형이 뚜렷하고 만 2년생 이상에서 암·수의 전장분포에 큰 차이가 보여 종개속, *Metaschistura*속과 차이를 보였다.

쌀미꾸리의 전장빈도분포도를 보면 6월부터 9월까지 전장 15 mm 이하의 개체가 지속적으로 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 쌀미꾸리의 초기생활사 연구로 볼 때, 전장 15 mm 이상으로 성장하려면 부화 후 약 20일이 걸리는 것으로 보고되어(Park *et al.*, 2020; Kim *et al.*, 2021), 성장을 역으로 계산하면 산란기는 대략 5월부터 8월까지로 추정되었다. Kim *et al.* (2021)은 생식소성숙도 변화 및 당년생 치어의 출현, 난경의 분포 등을 근거로 산란기를 5월부터 8월까지로 추정하고 다회산란을 한다고 보고한 바 있어 본 조사 결과와 산란기가 일치하였다. 종개과의 종개 및 대륙종개(Byeon, 2010; Ko, 2017), 미꾸리과 어류(Ko *et al.*, 2017a)는 대부분 난의 크기가 일정하며 한 시기에 산란하는 것으로 보고되어 본 종과 산란특성에 큰 차이를 보였다. 쌀미꾸리와 유사하게 다회 산란하는 어류는 송사리, 조개에 산란하는 납자루아과와 참중고기속 등이 보고되었는데(Kim and Park, 2007), 특히 송사리는 5~7월이 산란기이며 실험실에서 인위적

으로 빛과 수온을 일정하게 유지하면 연중 산란하는 것으로 보고되어(Kim and Park, 2007) 쌀미꾸리와 매우 유사한 것으로 추정되었다.

요 약

강릉시 주수천의 어류군집 특징 및 쌀미꾸리의 서식지 특징과 연령을 밝히기 위해 2013년 1월부터 12월까지 조사를 실시하였다. 어류상 조사 결과 주수천은 10과 23종이 채집되었고, 우점종은 참갈겨니 *Zacco koreanus* (22.1%), 아우점종은 버들개 *Rhynchocypris steindachneri* (20.1%)였으며, 그 다음으로 민물검정망둑 *Tridentiger brevispinis* (10.7%), 대륙종개 *Orthrias nudus* (9.7%), 피라미 *Zacco platypus* (8.6%), 쌀미꾸리 *Lefua costata* (7.9%), 참종개 *Iksookimia koreensis* (6.0%), 가시고기 *Pungitius sinensis* (3.0%) 등의 순으로 우세하였다. 환경부지정 멸종위기 야생생물은 가시고기 1종이 채집되었고, 한국고유종은 참갈겨니, 참종개, 미유기 *Silurus microdorsalis*, 독종개 *Cottus koreanus* 4종이, 회유성 어종은 황어 *Tribolodon hakonensis*, 빙어 *Hypomesus nipponensis*, 큰가시고기 *Gasterosteus aculeatus*, 연어 *Oncorhynchus keta*, 은어 *Plecoglossus altivelis* 5종이 채집되었다. 군집구조는 최상류(St. 1), 상류(St. 2~4), 중류(St. 5), 하류(St. 6)로 구분되었으며, 하천 건강성 평가는 매우좋음(5개 지점)과 좋음(1개 지점)으로 양호하였다. 쌀미꾸리의 주요 서식지는 하천 중·하류(St. 5~6)의 수초 지대로 하상이 펄로 이루어졌으며 수심 40~80 cm의 유속이 느린 정수역이었다. 또한 연령(암컷)을 전장빈도분포도로 추정된 결과, 산란이 시작되는 5월 기준 24~37 mm는 만 1년생, 38~51 mm는 만 2년생, 52~63 mm는 만 3년생, 64~77 mm는 만 4년생, 80~91 mm는 만 5년생 이상으로 추정되었다. 끝으로 주수천 어류군집 특징 및 쌀미꾸리의 서식지 특징과 연령 등에 대해 논의하였다.

REFERENCES

Byeon, H.K. 2010. Ecological study of *Orthrias nudus* (Balitoridae) in the Eoron Stream of Korea. Korean J. Ichthyol., 22: 162-167.

Byeon, H.K. and J.K. Oh. 2015. Fluctuation of fish community and inhabiting status of introduced fish in Gangnungnamdae Stream, Korea. Korean J. Environ. Ecol., 29: 718-728. <https://doi.org/10.13047/KJEE.2015.29.5.718>.

Chae, B.S., H.B. Song, J.Y. Park and G.H. Cho. 2019. A field guide to the freshwater fishes of Korea. LG Evergreen Foundation, Seoul, Korea, 355pp.

Choi, J.K., C.R. Jang and H.K. Byeon. 2011. The characteristic of

fish fauna by habitat type and population of *Zacco platypus* in the Tan Stream. Korean J. Environ. Ecol., 25: 71-80.

Choi, J.S., J.K. Byeon and K.S. Cho. 1995. Studies on stream conditions and fish community in Oship Stream (Samchuk County). Korean J. Limnol., 1995: 263-270.

Choi, K.C. 1986. The nature of Gangwon, freshwater fishes. Gangwon Provincial Office of Education, Chuncheon, Korea, 389pp.

Choi, K.C., S.R. Jeon, I.S. Kim and Y.M. Son. 1990. Coloured illustrations of the freshwater fishes of Korea. Hyangmun Publishing Co. Ltd., Seoul, Korea, 277pp.

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.

Erös, T. 2001. Life history of the stone loach, *Barbatula barbatula* in the Bukkos stream (Hungary). Folia Zool., 50: 209-215.

Fishbase, 2020. *Lefua costata* was reported from 4 countries/islands. Retrieved from <http://www.fishbase.org>. version (12/2021).

G1TV. 2017. Signs of ecological recovery of *Lethenteron japonicus*. Retrieved from http://www.g1tv.co.kr/news/?mid=1_207_6&newsid=165003. version (3/2022).

Hosoya, K. 2019. Japanese freshwater fish, supplemented and revised compiled. Mountain and Gyeoksha Shrine, Tokyo, Japan, 560pp.

Jang, M.H., G.J. Joo and M.C. Lucas. 2006. Diet of introduced large-mouth bass in Korean rivers and potential interactions with native fishes. Ecol. Freshw. Fish, 15: 315-320.

Kani, T. 1944. Ecology of torrent-inhabiting insects. In: Furukawa, J. (ed.). Insect I. Kenkyu-sha, Tokyo, Japan, pp. 171-317.

Kim, D., M. Vincent Hirt, Y.J. Won and A.M. Simons. 2017. Small fishes crossed a large mountain range: Quaternary stream capture events and freshwater fishes on both sides of the Taebaek Mountains. Integr. Zool., 12: 292-302. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12228>.

Kim, H.S., M.S. Han and M.H. Ko. 2021. Spawning period characteristics and early life history of the eight barbel loach, *Lefua costata* (Pisces: Balitoridae). Korean J. Environ. Ecol., 35: 285-293. <https://doi.org/10.13047/KJEE.2021.35.3.285>.

Kim, I.S. 1997. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, Vol. 37, Freshwater Fishes. Ministry of Education, Yeongi, Korea, 329pp.

Kim, I.S. and J.Y. Park. 2007. Freshwater fishes of Korea. Kyohak Publishing, Seoul, Korea, 467pp.

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 Co. Ltd., Seoul, Korea, 615pp.

Kim, S.Y. 2001. Molecular phylogeny of family Cobitidae (Pisces, Cypriniformes) of Korea inferred from nucleotide sequence of mitochondrial cytochrome *b* gene. Doctoral Thesis, Chonbuk National University, Jeonju, Korea, 108pp.

Ko, M.H. 2016. Distribution status and threatened assessment of endangered species, *Pungitius sinensis* (Pisces: Gasterosteidae) in Korea. Korean J. Ichthyol., 28: 186-191.

Ko, M.H. 2017. Life History of the siberian stone loach *Orthrias toni*

- (Pisces: Balitoridae) in the Buk Stream, Korea. Korean J. Ichthyol., 29: 197-204.
- Ko, M.H., M.S. Han and S.M. Kwan. 2019. Distribution aspects and extinction threat evaluation of the Korean endemic species, *Iksookimia pacifica* (Pisces: Cobitidae) in Korea. Korean J. Ichthyol., 31: 16-22. <https://doi.org/10.35399/ISK.32.1.1>.
- Ko, M.H., S.J. Moon and I.C. Bang. 2013. Fish community structure and inhabiting status of endangered species in Baebong Stream. Korean J. Ecol. Environ., 46: 192-204.
- Ko, M.H., Y.S. Jeon and Y.J. Won. 2017a. Early life history of the eastern Korean tetraploid spined loach, *Iksookimia yongdokensis* (Pisces: Cobitidae). Folia Zool., 66: 153-162.
- Ko, M.H., Y.S. Kwan, W.K. Lee and Y.J. Won. 2017b. 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.
- Kottelat, M. 2012. Conspectus cobitidum: An inventory of the loaches of the world (Teleostei: Cypriniformes: Cobitoidei). Raffles Bull. Zool., Suppl. 26: 1-199.
- Kwater. 2007. A guidebook of rivers in South Korea. Kwater, Daejeon, Korea, 582pp.
- Lee, H.G. and J.K. Choi. 2015. The characteristic of fish community following the restoration of Yangjae Stream. Korean J. Environ. Ecol., 29: 873-883.
- Lee, K.S. 2011. A taxonomic study on the eight barbel loach, *Lefua costata* (Pisces: Balitoridae), from Korea. Master Thesis, Chonbuk National University, Jeonju, Korea, 36pp.
- Lee, W.O., M.H. Ko, J.M. Baek, D.H. Kim, H.J. Jeon and K.H. Kim. 2010. Characteristics of fish fauna and community structure in Buk Stream of Goseong. Korean J. Ichthyol., 22: 238-248.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2010. The national survey of low head dams and development of database in Korea, 275pp.
- 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.
- Mills, C.A., J.S. Welton and E.L. Rendle. 1983. The age, growth and reproduction of the stone loach *Noemacheilus barbatulus* (L.) in a Dorset chalk stream. Freshwater Biol., 13: 283-292.
- MLTM (Ministry of Land & Transport and Maritime Affairs). 2010. Culture and restoration of endangered species in the major four river drainages. Soonchunhyang University, Asan, Korea, 489pp.
- MOE (Ministry of Environment). 2007. Research and planning guidelines of aquatic ecosystems health assessments. Ministry of Environment, Incheon, Korea, 334pp.
- MOE (Ministry of Environment). 2009. Development of genetic diversity analysis, culture and ecosystem restoration techniques for endangered fish, *Iksookimia choui*. Soonchunhyang University, Asan, Korea, 537pp.
- MOE (Ministry of Environment). 2010. Culture and restoration of endangered species in the major four river drainages. Institute of Biodiversity Research, Jeonju, Korea, 86pp.
- Moyle, P.B. and J.J. Cech. 2000. Fishes: An introduction to ichthyology (4th ed.). Davis: Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, NJ, U.S.A., 612pp.
- Nam, M.M., Y.H. Kang, B.S. Chae and H.J. Yang. 2002. On the geographical distribution of freshwater fishes in the Gagok and Maeup Streams flowing into the East Sea, Korea. Korean J. Ichthyol., 14: 269-277.
- Nelson, J.S., T.C. Grande and M.V.H. Wilson. 2016. Fishs of the World (fifth edition). John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, U.S.A., p. 190.
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2011. Red data book of endangered fishes in Korea. Ministry of Environment, Incheon, Korea, 202pp.
- 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, Korea, 250pp.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2007-2015. River and stream ecosystem health assessment. Incheon, Korea.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2011. A detailed survey of ecosystems in the estuary area (Gangneung Namdaecheon, Gangneung Jusucheon, Samcheok Maupcheon). National Institute of Environmental Research, 633pp.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2015. Survey and evaluation method for river and stream ecosystem health assessment. National Institute of Biological Resources, Incheon, Korea, 116pp.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2019. Survey and evaluation method for river and stream ecosystem health assessment. National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea, 131pp.
- Nishimura, S. 1974. History of Japan sea: Approach from biogeography. Tsukiji-Shokan, Tokyo, Japan, 274pp.
- Park, J.M., S.J. Cho and K.H. Han. 2020. Early life history of *Lefua costata* (Cypriniformes: Balitoridae) from Korea. Dev. Reprod., 24: 307-316.
- Park, J.Y., S.H. Kim, M.H. Ko, M.K. Oh and J.C. Shin. 2009. Change of ichthyofauna and fish community on natural stream restoration in Jeonju-cheon stream, Jeollabuk-do, Korea. Korean J. Environ. Ecol., 23: 281-291.
- Pielou, E.C. 1966. Shannon's formula as a measure of diversity. Amer. Natural., 100: 463-465.
- Pielou, E.C. 1975. Ecological diversity. John Wiley, New York, U.S.A., 165pp.
- Ricker, W.E. 1971. Methods for assessment of fish production in freshwater. IBP hand book, 3: 112-113.
- Sauvonsaari, J. 1971. Biology of the stone loach (*Nemacheilus barbatulus* L.) in the lakes Päijänne and Pälkänevesi, southern Finland. Ann. Zool. Fen., 8: 187-193.
- Smyly, W.J.P. 1955. On the biology of the stone-loach *Nemacheilus barbatula* (L.). J. Anim. Ecol., 24: 167-186.

- Uchida, K. 1939: The fishes of Tyosen (Korea). Part I. Nematognathi, Eventognathi. Bull. Fish. Exp. St. Govern-Gen. Tyosen, Japan, 6: 1-458.
- Yang, S.Y., H.Y. Lee, H.J. Yang and J.H. Kim. 1991. Systematic study on the fishes of family Cobitidae (Pisces, Cypriniformes) I. Geographic variation of *Nemacheilus toni*, *Lefua costata*, and *Niwaella multifasciata*. Korean J. Zool., 34: 110-122.
- 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. Mar. Petrol. Geol., 73: 212-227.