

Original article

PIT telemetry를 이용한 얼룩동사리의 서식지 선택 연구

김준완 · 김규진 · 최범명 · 윤주덕^{1,*} · 장민호*

공주대학교 생물교육과, ¹국립생태원 멸종위기종복원센터

Study on Habitat Selection of *Odontobutis interrupta* using PIT Telemetry. Jun-Wan Kim (0000-0002-7181-0313), Kyu-Jin Kim (0000-0002-7826-9961), Beom-Myeong Choi (0000-0001-5702-5207), Ju-Duk Yoon^{1,*} (0000-0003-1667-327X) and Min-Ho Jang* (0000-0003-2331-4232) (Department of Biology Education, Kongju National University, Gongju, 32588, Republic of Korea; ¹Research Center for Endangered Species, National Institute of Ecology, Yeongyang-gun 36537, Republic of Korea)

Abstract This study carried out from March 2021 to October 2021 in the upper part (St. 1) and middle part (St. 2) section of Yongsu stream, a branch of the Geum river, using PIT telemetry to understand the movement patterns and habitat characteristics of *Odontobutis interrupta*, a Korean endemic species. *O. interrupta* collection was used kick net (5 × 5 mm) and fish trap (5 × 5 mm). After collecting fish, PIT tag insertion was performed immediately in the site. Reader (HPR Plus Reader, biomark, USA) and portable Antenna (BP Plus Portable Antenna, biomark, USA) were used for detection of fish to monitoring the tagged *O. interrupta*. As a result of PIT telemetry applied to 70 individuals, mean movement distance was 36.5 (SE, ± 6.6) m. There was a significant difference between total length and movement distance ($P \leq 0.05$). *O. interrupta* was mainly identified in average water depth, 36.2 ± 1.9 cm, average water velocity, 0.03 ± 0.07 m s⁻¹ and average distance from watershed, 4.4 ± 0.3 m. Extent of rock used for habitat was varied from 32 to 4,000 cm². There was no statistical difference between the area of the first selected rock and the area of the after selected rock ($P > 0.05$). but there was significant difference between total length and the area of the rock except for detection before 24 hours ($P < 0.01$). Therefore, to restore the habitat, it is considered necessary to create various substrate structures by providing various habitat environments (water depth, flow rate, stone, etc.) for each individual size.

Key words: *Odontobutis interrupta*, PIT telemetry, habitat selection, movement, monitoring

서 론

수생 생물이 서식하는 데 영향을 주는 교란 원인은 크

게 화학적 교란요인, 생물학적 교란요인, 물리적 교란요인으로 구분되어진다. 화학적 교란요인은 비료 및 농약, 산업폐수 등 오염물질의 유입으로 인해 발생하며 (Kelly and Janz, 2008), 생물학적 교란요인은 식량자원 또는 레포츠 (leisure sports)를 위해 의도적 또는 비의도적으로 유입된 외래종으로 인해 발생한다 (Bernardo *et al.*, 2003; Lymbery *et al.*, 2010). 또한, 물리적 교란요인은 홍수, 가뭄, 도로건

Manuscript received 28 November 2022, revised 12 December 2022, revision accepted 12 December 2022

* Corresponding author: Tel: +82-41-850-8285, Fax: +82-41-850-8842
E-mail: jangmino@kongju.ac.kr
Tel: +82-54-680-7360, E-mail: zmszmsqkek@hanmail.net

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

설, 하천을 가로지르는 인공구조물의 건설 등으로 발생하며 (Fukushima *et al.*, 2007), 이러한 교란요인들이 각각 다른 규모로 수생태계에 영향을 주어 수생 생물들에게 부정적인 영향을 미친다 (Pires *et al.*, 1999; Jang *et al.*, 2002).

물리적 교란요인 중 댐, 보 및 하구둑과 같이 하천을 횡으로 구분하는 구조물의 건설과 같은 인위적인 교란은 하천의 호소화 및 수질 악화 (Connell *et al.*, 1981) 등으로 어류의 서식환경과 이동에 영향을 주어 궁극적으로 군집의 변화를 초래할 수 있다 (Barry, 1990). 댐 건설로 인해 어류의 이동경로가 단절되어 산란기 동안 어류의 이동이 제한되고 어류 산란장의 질을 저하시켜 번식에 영향을 미칠 수 있으며, 댐의 건설은 건설 목적과 상관없이 수로의 절단, 하상의 변화 등을 야기할 수 있다 (Fukushima *et al.*, 2007; Yi *et al.*, 2010). 또한, 홍수와 같은 자연적인 교란에 의해서도 어류는 영향을 받으며 환경변화에 대처해 자신을 보호하고 (Hill and Grossman, 1987) 새로운 서식지를 찾거나 피난처를 찾기 위해 이동을 한다 (Natsumeda, 2003).

어류의 이동은 서식처의 시·공간적 변화가 수반되어 나타나며 대상 어류에 따라 이동 패턴과 규모가 다르게 나타나고 동일 종 내에서도 생활사 (life stage)에 따라 차이를 보인다 (Lucas and Baras, 2001). 어류의 이동은 목적에 따라 구분되며 그 중 서식처 선택을 위한 이동은 환경변화에 따라 자신에게 적합한 서식처를 찾기 위한 이동으로 동일한 종이라도 주변 환경에 따라 서식처를 이용하는 방식 및 규모가 달라지며 (Almeida *et al.*, 2012), 어류의 서식처에 대한 연구는 종의 생태적 지위를 밝히는데 중요하다 (Baek and Song, 2005).

얼룩동사리 (*Odontobutis interrupta*)는 고유종 (Korean endemic species)으로 몸길이는 약 10~15 cm이며 저서성 대형무척추동물이나 소형 어류를 섭식하는 육식성 어류이다 (Han *et al.*, 2015; Park *et al.*, 2017). 얼룩동사리에 관한 연구로는 산란 행동 및 초기생활사 (Choi and Na, 2000; Park *et al.*, 2014) 등의 연구가 주로 이루어졌으며, 같은 동사리와 어류에 대한 연구로는 분포 (Iwata *et al.*, 1985; Sakai *et al.*, 1999), 산란행동 (Mashiko, 1976), 개체 발생 (Iwata *et al.*, 1988; Voskoboinikova and Pavlov, 2006), *O. hikimius*의 배체발달 (Doi and Aoyama, 2006), 생식주기 (Lee, 1998; Lee and Yang, 1998) 및 유전적 비교 (Sakai *et al.*, 1993) 등이 수행되었다. 서식처의 환경변화나 교란 등에 관련되어 나타나는 어류의 이동은 어류 관리에 있어서 중요하며 하천에서 국내 고유종인 얼룩동사리의 이동 및 서식처 특성에 관한 연구는 전무한 실정이다. 본 연구의 대상어종인 얼룩동사리는 크기가 작은 어종이며, 이동 거리, 서식처 특성 등을 파악하기 위해서는 개체식별과 개

체의 정확한 위치를 파악할 수 있는 수동형 전자발신장치 (Passive integrated transponder tag, PIT tag)가 효과적인 방법으로 사용될 수 있다. 따라서, 본 연구는 하천 내에서 PIT telemetry를 이용하여 국내 고유종인 얼룩동사리의 이동거리 및 서식처 특성 등을 분석하고 종다양성 보존을 위한 대상 어종의 생태 및 서식처 특성과 복원을 위한 정보를 제공하는 데에 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 조사지역 및 서식처 특성 모니터링

조사지역은 환경부에서 시행한 전국자연환경조사 자료를 통해 용수천에서 얼룩동사리가 다수 서식하던 곳을 선정하였다 (NIE, 2020). 용수천은 금강수계 내 중상류부에 위치하며 총 유로연장 21.37 km, 유역면적 98.34 km²로서 금강 전체의 0.99%를 점하고 있다. 얼룩동사리의 이동 및 서식처 특성에 관한 연구가 이루어진 지역은 용수천 상류 지역 (St. 1)과 용수천 중류 지역 (St. 2)이다 (Fig. 1). 각 조사지역의 행정구역명과 위도 및 경도는 아래에 표시하였다. St. 1 (공암교)의 하천 내 환경은 대부분 수심이 깊고 유속이 거의 없는 흐름 (run) 환경과 소 (pool) 환경을 유지하고 있으며, 일부 구간은 경사로 인하여 수심이 얇은 여울 (riffle) 환경이 조성되어 있다. St. 2 (백룡교)의 경우 하천 내 대부분 구간이 여울과 흐름 환경이며, 구간 전체에 걸쳐 작은 소 환경이 다수 조성되어 있다. 경사로 인해 형성된 여울 환경은 수심이 얇고 하류로 갈수록 수폭이 좁아져 유속이 증가하며, 흐름과 소 환경은 비교적 수심이 깊고 유속이 거의 없는 환경이 형성되어 있다. 두 지역 모두 모래, 자갈, 돌이 많고 유속이 거의 없어 얼룩동사리가 서식한다고 알려진 환경과 유사한 것으로 확인되었다.

St. 1: 충청남도 공주시 반포면 공암리 공암교
(36°23'45.6"N 127°15'06.7"E)

St. 2: 세종특별자치시 금남면 두만리 백룡교
(36°25'40.2"N 127°16'31.6"E)

조사지역의 서식처 특성을 파악하기 위해 연구 기간인 2021년 3월부터 2021년 10월까지 총 21회 서식처 특성 모니터링을 수행하였다. 서식처의 특성을 파악하기 위해 조사지역의 수심 및 유속을 측정하고 하상구조 및 수생식물 유무 등을 조사하였다. 수심 및 유속은 유속계 (FP-111, Global water, USA)를 이용하여 측정하였으며 하상구조는 Cummins (1962)의 방법을 적용하였다.

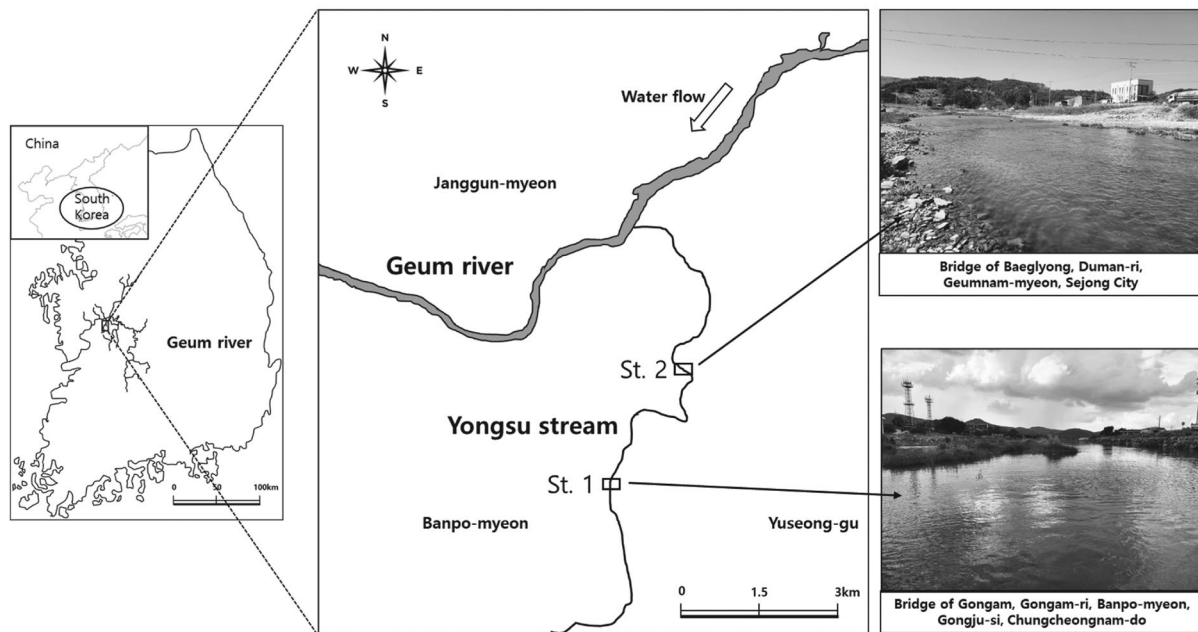


Fig. 1. The map of study area (St. 1: Bridge of Gongam, St. 2: Bridge of Baeglyong).

2. Lab test를 위한 어류 채집과 PIT tag 적용에 따른 어류의 생존을 평가

Lab test를 위한 어류는 2021년 7월 20일에 금강 수계의 지류인 연산천(충청남도 논산시 연산면 천호리 송정교)과 조사지역인 St. 1 (충청남도 공주시 반포면 공암리 공암교)에서 총 32개체를 채집하였다. 족대(망목 5×5 mm)를 이용하여 채집하였으며 PIT tag 삽입에 따른 얼룩동사리의 생존율을 평가하기 위해 채집 후 공주대학교 생물교육과 동물생태실험실에서 사육하였다. 온도(23°C)가 조절되는 10개의 항온수조(43.5×32×29 cm)에 사육하였으며 tank 내 산소농도를 7~8 mg L⁻¹로 유지하기 위하여 염소가 제거된 물을 지속적으로 공급했다. 각 개체 간의 경쟁을 최소화하기 위해 전장에 따라(60~69 mm, 70~79 mm, 80~89 mm, 90~99 mm, 100~109 mm, 110 mm 이상) 6개의 집단으로 나누어 사육하였으며 1일 1회 동일시간(10:00~10:30)에 약 3 g의 Blood worm (DISUS KOREA LTD, Korea)을 먹이로 공급하였다. 각 개체들은 7~10일간의 적응 기간 후 PIT tag를 복강에 삽입하였다. 삽입한 PIT tag는 Biomark Bulk HDX PIT Tag (길이 12.0 mm, 직경 2.12 mm, 대기 중 무게 약 0.11 g)으로, 체중의 2~5%를 넘지 않는 범위에 포함되는 개체만을 선별하여 삽입하였다. 각 tag의 고유번호는 어류 체내 삽입 전 작동유무를 파악하기 위해 휴대용 수신기(Gesreader 3S, Datamars)를 이용하여 확인하고 기록하였다. Tag의 삽입은 외과

적 수술을 통해 이루어졌으며 수술 과정 중 감염을 최소화하기 위해 수술 전 모든 수술 장비와 PIT tag를 70% Ethanol로 소독하였다. Tag 삽입을 위해 각 개체들은 Ethyl 3-aminobenzoate methanesulfonate salt (Sigma-Aldrich, Germany)를 0.1 g L⁻¹의 양으로 첨가한 용액을 이용하여 마취시켰다. 마취 후 매스를 사용하여 복강부위(가슴지느러미와 배지느러미 사이)를 3~4 mm 길이로 가른 후, tag를 삽입하고, 생체 접착제(3MTM VetbondTM Veterinary Tissue Adhesive, USA)를 이용하여 삽입부분을 봉합하였다. 총 32개체를 대상으로 2회(2021년 7월 27일, 2021년 7월 30일)에 걸쳐 수행되었으며, Tag 삽입 전에 각 개체의 전장(TL, mm), 체장(SL, mm), 무게(BW, g)를 측정하였고 Tag 삽입 후에 각 개체들은 회복수조에서 순치시킨 후 생존을 파악을 위해 30일간 매일 각 개체의 생존여부를 관찰하였다(Table 1).

3. 어류 채집 및 Tagging

이동 및 서식처 특성을 파악하기 위한 얼룩동사리의 채집은 St. 1 (공암교)과 St. 2 (백룡교)에서 2021년 3월부터 2021년 9월까지 총 13회 실시하였다(Table 1). 얼룩동사리는 조사지역에서 족대(망목: 5×5 mm)와 통발(fish trap, 5×5 mm)을 이용하여 채집하였으며, 통발은 12시간마다 채집 여부를 확인하였으며, 얼룩동사리를 제외한 어류들은 즉시 방류하였다.

Table 1. Details of the total length (TL), Standard length (SL) and body weight (BW) of PIT tagged *O. interrupta* to evaluate survival rate in the Lab test.

TL (mm)	Number of tagged individuals	TL (mm) (Mean ± SD)	SL (mm) (Mean ± SD)	BW (g) (Mean ± SD)	Number of survived individuals (%)
60~69	3	63.7 ± 4.0	54.0 ± 3.6	2.6 ± 0.5	1 (33.3)
70~79	9	74.8 ± 3.0	63.7 ± 2.8	4.3 ± 0.5	9 (100.0)
80~89	8	84.8 ± 3.5	71.3 ± 4.2	7.2 ± 0.9	6 (75.0)
90~99	7	93.4 ± 4.2	79.6 ± 3.7	10.3 ± 1.4	7 (100.0)
100~109	4	105.0 ± 3.4	88.5 ± 3.0	14.4 ± 2.9	4 (100.0)
> 109	1	152	130	38.1	1 (100.0)
Total	32	86.5 ± 17.2	73.3 ± 14.7	8.5 ± 6.7	28 (87.5)

Table 2. Body size of individuals of *O. interrupta* collected and tagged during tagging period (SD, Standard deviation).

Date	Number of tagged individuals	Body size (Mean ± SD)		
		TL (mm)	SL (mm)	BW (g)
2021. 03. 25	10	91.7 ± 35.2	76.2 ± 28.1	15.7 ± 17.5
2021. 03. 26	7	99.7 ± 27.7	83.1 ± 22.7	17.5 ± 12.8
2021. 03. 28	3	108.3 ± 29.5	90.7 ± 25.8	21.6 ± 15.2
2021. 04. 11	1	75.0	61.0	5.1
2021. 04. 18	5	120.2 ± 8.5	100.2 ± 9.6	24.8 ± 5.2
2021. 04. 26	2	109.0	93.5	17.9
2021. 06. 26	1	125.0	103.0	29.5
2021. 06. 27	8	78.8 ± 19.0	63.6 ± 16.5	7.7 ± 5.5
2021. 07. 01	6	83.0 ± 15.7	70.2 ± 14.0	7.6 ± 4.4
2021. 07. 02	7	102.0 ± 20.0	85.1 ± 16.1	13.7 ± 7.1
2021. 07. 03	4	106.5 ± 8.7	90.3 ± 8.3	15.2 ± 3.7
2021. 08. 29	9	110.4 ± 15.7	90.9 ± 16.0	19.1 ± 8.7
2021. 09. 05	7	107.0 ± 16.9	88.3 ± 13.5	18.7 ± 9.8
Total	70	100.1 ± 23.7	83.1 ± 20.0	16.0 ± 10.9

얼룩동사리의 이동을 추적하기 위해 PIT (Passive integrated transponder) telemetry를 사용하였다. 수동형 전자 발신장치 (PIT tag)은 RFID (Radio-frequency identification) 방식을 이용한 것으로 외부 수신기로부터 전기신호를 받아 tag의 고유번호를 수신기가 인식하게 하는 시스템이다. PIT tag은 tag의 감지를 위해 특수한 수신기가 필요하며 Tag의 회수가 거의 불가능하다는 단점이 있으나 (Kenward, 2001), tag의 크기가 작아 몸집이 작은 어류에 효율적으로 적용이 가능하고 어류에게 삽입하여도 생리적, 행동적 장애를 주지 않는다는 장점이 있다 (Bubb *et al.*, 2002). 또한, 식별거리가 1 m 내외로 짧아 tag가 삽입된 개체의 정확한 위치를 파악할 수 있으며 배터리가 없어 한

번 적용하면 개체가 생명이 다할 때까지 영구적으로 사용 가능하다 (Morhardt *et al.*, 2000). 따라서 tag의 크기가 작고 tag이 삽입된 개체의 정확한 위치를 파악할 수 있다는 장점으로 PIT telemetry는 전장이 10 cm 내외의 저서성 소형 종에, 이동성이 적은 얼룩동사리의 이동을 평가하는데 효과적인 방법이다.

PIT tag 삽입은 어류 채집 후 현장에서 즉시 수행하였으며 총 13회에 걸쳐 70개체 (ID 1-ID 70)를 대상으로 수행하였다 (Table 2). Tag의 삽입은 Lab test와 동일한 방법으로 외과적 수술을 통해 이루어졌으며, Tagging이 끝난 개체는 산소발생기가 설치되어있는 tank로 이동시켜 완전히 회복될 때까지 충분히 기다린 후 조사지역에 방류하였다.

4. Tagged fish monitoring

Tag가 삽입된 각 개체들을 모니터링하기 위해 Portable transceiver system (HPR Plus Reader, biomark, USA)을 이용하였다. Reader에 Portable Antenna (BP Plus Portable Antenna, biomark, USA)를 연결하여 어류 추적에 사용하였으며, 본 system의 경우 감지범위가 약 30 cm로 하천을 따라 scan하는 방식으로 모니터링을 수행하였다. 얼룩동사리의 이동을 파악하고 얼룩동사리의 서식처 특성을 밝히기 위해 2021년 3월부터 10월까지 총 21회 모니터링이 진행되었다(Table 2). 모니터링 중 tag 감지 시에 감지가 이루어진 지점에 대한 수변으로부터의 거리 및 서식처로 이용되고 있는 돌의 크기(장축, 단축)를 측정하여 기록하였다. 또한, 해당지점의 수심, 유속, 수폭, 하폭을 측정하여 얼룩동사리의 서식처 특성을 밝히고자 하였다. 수폭, 하폭, 수변으로부터의 거리는 거리측정기(COOLSHOT 20 GII, Nikon, Japan)를 이용하여 측정하였으며, 수심과 유속은 유속계(FP-111, Global water, USA)를 이용하였고 돌의 장축 및 단축은 철자를 이용하여 측정하였다. 어류 모니터링 시 각 개체의 다음 이동을 확인하기 위해 돌에서 tag이 감지된 경우에는 수중 접착제(SIMP AQUA SEAL 640, Korea)를 이용하여 돌에 리본을 달아 표시하였다. 감지가 이루어진 지점에 대한 GPS 정보는 tag 감지 시 reader에 자동으로 저장되어 실험실 내에서 감지위치를 저장하고 기록하였다. 모니터링은 조사자가 하천 내에서 이동할 때 생기는 탁수에 의해 어류가 이동하는 영향을 최소화하고 가시성 확보를 위해 조사지역의 하류방향에서 상류방향으로 수행하였으며, 조사자의 움직임에 의해 어류가 이동하는 것을 방지하기 위해 하천 내에서 한 명만 어류 추적을 수행하였다.

5. Data 분석 및 통계분석

생존율 평가를 위해 실시한 Lab test에서 PIT tag이 삽입된 개체의 전장과 생존기간 사이의 상관관계를 분석하기 위해 상관분석(Correlation analysis)를 수행하였다. 또한, 얼룩동사리의 이동 특성을 파악하기 위해 전장에 따라 5개 구간(50~69 mm, 70~89 mm, 90~109 mm, 110~129 mm, 130~149 mm)으로 나누어 이동거리 차이를 비교하였다. 각 개체의 이동거리는 최단거리를 이용하여 최소이동거리로 계산했다. 얼룩동사리의 서식처 특성을 파악하기 위해 수심, 유속, 수변부로부터의 거리, 돌의 크기 등을 분석하였으며, 돌의 크기는 현장에서 측정된 돌의 장축과 단축의 길이를 이용하여 돌 밑면의 면적을 구하고 분석에 이

용하였다. 감지가 이루어진 돌의 면적과 개체크기 사이의 상관관계를 분석했으며, 얼룩동사리가 선택하는 돌의 특성을 파악하기 위해 6회 이상 감지된 개체가 선택한 돌의 면적을 파악하여 방류 후 최초선택하는 돌의 면적과 이후에 선택하는 돌의 면적의 차이를 분석하였다. 또한, 각 개체의 전장에 대한 돌 면적비(Eq. 1)를 산출하여 어류 크기에 대한 차이를 표준화하고 얼룩동사리가 서식하는 돌의 면적 범위를 파악하였다.

$$\text{Equation 1} = \frac{\text{Extent of rock (cm}^2\text{)}}{\text{Total length (mm)}}$$

얼룩동사리의 이동 특성 및 서식처 특성을 파악하기 위한 모든 통계분석은 ANOVA (Analysis of variance) 분석 통해 수행되었으며 SigmaPlot 10.0 (Systat Software, Inc., Germany)을 통해 도표 작업을 수행하였다. 본 연구에서 실시된 모든 분석은 IBM SPSS Statistics 26 (IBM corp, New York, USA)를 이용하여 수행되었다.

결 과

1. PIT tag 삽입에 따른 생존율 평가

전장에 따라(60~69 mm, 70~79 mm, 80~89 mm, 90~99 mm, 100~109 mm, 110 mm 이상) 6개 구간으로 나눈 얼룩동사리에 대해 PIT tag 삽입에 의한 생존율을 평가한 결과 총 32개체 중 4개체가 폐사하고 28개체가 생존하여 87.5%의 생존율을 보였다. 가장 낮은 생존율을 보인 구간은 전장 60~69 mm 구간으로 3개체 중 1개체만 생존하여 33.3%의 생존율을 보였다. 실험 5일차에 1개체가 폐사하여 66.6%의 생존율로 감소한 이후 11일차에 1개체가 추가로 폐사하여 33.3%의 생존율을 나타냈다. 이후에 실험이 종료될 때까지 폐사한 개체가 나타나지 않았다. 또한, 전장 80~89 mm 구간의 8개체 중 6개체가 생존하여 75%의 생존율을 보였으며 실험 9일차에 1개체가 폐사하여 87.5%의 생존율로 감소한 이후 18일차에 추가로 1개체가 폐사하여 75%의 생존율을 나타냈다. 그 이후 폐사한 개체는 나타나지 않았다. 나머지 구간(70~79 mm, 90~99 mm, 100~109 mm, 110 mm 이상)에서는 모든 얼룩동사리가 생존하여 100%의 생존율을 보였다(Table 1). 얼룩동사리 생존율 평가에 따르면 각 개체들의 전장이 70~79 mm 인 경우를 제외하고 전장이 길수록 생존기간이 긴 것으로 나타났다. 또한, 전장이 90 mm 이상인 개체들의 생존율은 100%로 나타났다.

2. 조사지역의 물리적 특성

얼룩동사리의 서식처 선택 연구를 위한 St. 1 (공암교)의 경우 구간 상류에 형성된 여울을 제외한 대부분의 구간에서 수심이 40~60 cm를 유지하고 있으며, 강우 시 최대 80 cm까지 증가하였다. 구간 상류에 형성된 소의 경우 0.3~1.0 m로 다양한 수심을 보였다. 유속은 여울 구간에서 0.2~0.3 m s⁻¹ 내외의 값을 보였으며, 대부분의 구간에서는 0.1 m s⁻¹ 이하의 값을 보였다. St. 1 (공암교)의 하상 구조는 큰 돌(>256 mm)이 25%, 작은 돌(64~256 mm)이 60%로 다수를 차지하고 있었으며, 자갈(16~64 mm), 잔자갈(2~16 mm), 모래(0.062~2 mm), 진흙(<0.062 mm)의 구성비는 총 15%로 낮게 나타났다. 전체적으로 구간 내 식생이 매우 발달하여 정수식물 및 침수식물이 밀집하고 있는 환경을 보였다. St. 2 (백룡교)의 경우 St. 1 (공암교)보다

전체적으로 수심이 얕은 것으로 확인되었다. 대부분의 구간에서 수심은 10~20 cm를 유지하고 있으며 강우 시 최대 30 cm까지 증가하였다. 구간 상류에 형성된 소의 경우 다른 구간과 비교하여 수심이 깊었으며 최대 수심은 약 50 cm로 확인되었다. 유속은 여울 구간을 제외하고 대부분 0.1 m s⁻¹ 이하의 값을 나타냈으며 구간 하류에 형성된 여울의 경우 0.3~0.4 m s⁻¹ 내외의 값을 보여 유속이 여울 구간에서 St. 1 (공암교)보다 더 빠른 것으로 확인되었다. St. 2 (백룡교)의 하상구조는 큰 돌(>256 mm)이 50%로 다수를 차지했으며, 작은 돌(64~256 mm)이 30%, 자갈(16~64 mm), 잔자갈(2~16 mm), 모래(0.062~2 mm), 진흙(<0.062 mm)의 구성비는 총 20%로 낮게 나타났다. St. 2 (백룡교)는 St. 1 (공암교)와 달리 구간 내 식생이 하류방향으로 갈수록 하천 내에 정수식물 및 침수식물이 존재했으며, 구간 상류에는 거의 존재하지 않았다(Table 3).

Table 3. Physical characteristics of study area (St. 1: Bridge of Gongam, St. 2: Bridge of Baeglyong).

		St. 1	St. 2
Water depth (cm)	Ordinary	40~60	10~20
	Precipitation	~80	~30
Velocity (m s ⁻¹)	Riffle	0.2~0.3	0.3~0.4
	Run, Pool	~0.1	~0.1
Substrates (%)	Boulder (>256 mm)	25	50
	Cobbles (64~256 mm)	60	30
	Coarse gravel (16~64 mm)		
	Fine gravel (2~16 mm)		
	Sand (0.062~2 mm)	15	20
	Silt (<0.062 mm)		

3. 얼룩동사리의 이동

모니터링결과 얼룩동사리의 이동은 총 70개체 중 38개체의 128회 움직임이 감지되었다. 모든 데이터 중에서 폐사한 것으로 추정되는 개체의 데이터를 제외한 115회 감지 데이터를 분석에 이용하였다. 전장별 이동거리 차이를 분석하기 위해 감지 데이터를 전장에 따라(50~69 mm, 70~89 mm, 90~109 mm, 110~129 mm, 130~149 mm) 5개 구간으로 나누어 이동거리 차이를 비교하였다(Fig. 2A, 2B). 50~69 mm 구간에서 6개체가 총 25회, 70~89 mm 구간에서 12개체가 총 39회, 90~109 mm 구간에서 5개체가 총 12회, 110~129 mm 구간에서 11개체가 총 31회, 130~149 mm 구간에서 4개체가 총 8회 감지되었다

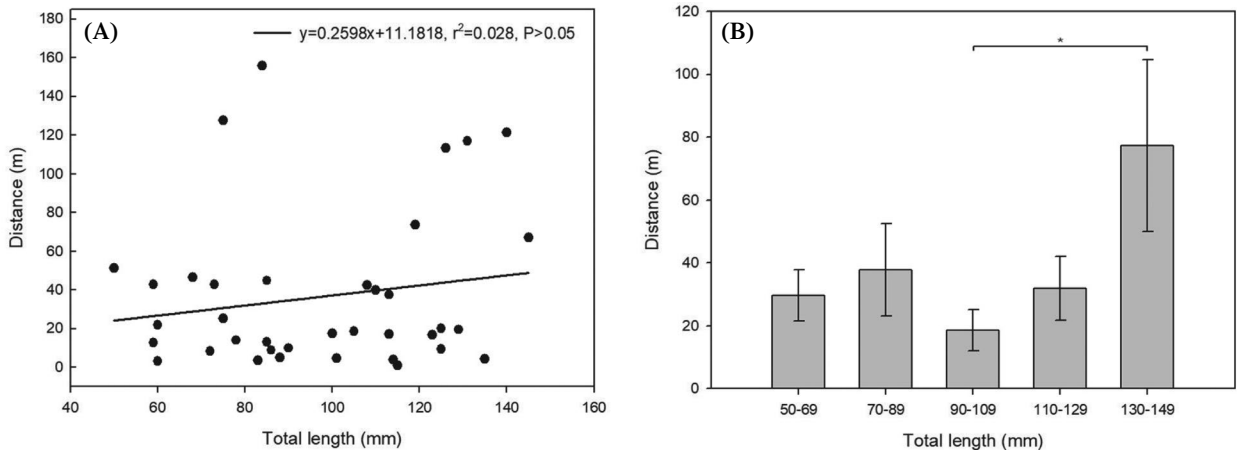


Fig. 2. Length-distance relationship (A), Mean value of length-distance relationship (B) of *O. interrupta* (*, $P=0.05$; Not significant, $P>0.05$).

(Table 4). 방류지점으로부터의 평균 이동거리는 36.5 m (SE, Standard error: ± 6.6)로 나타났다. 130~149 mm 구간에서 평균 이동거리가 77.3 ± 27.3 m로 가장 많이 이동했으며, 90~109 mm 구간에서 18.6 ± 6.5 m로 가장 적게 이동했다 (Fig. 2A, 2B). ANOVA 분석결과 전장과 총이동거리는 90~109 mm와 130~149 mm 사이에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다 ($P=0.05$).

4. 서식처 선택

얼룩동사리의 서식처는 감지지점에 대하여 수심, 유속, 수변부로부터의 거리, 돌의 면적 등을 측정하여 분석에 이용하였다 (Table 5). 수심은 최소 5 cm에서 최대 92 cm까지 나타났으며, 평균값의 경우 36.2 ± 1.9 cm로 나타났다. 감지지점의 유속은 $0 \sim 0.4$ m s⁻¹ 사이이며 평균 0.03 ± 0.01 m s⁻¹로 유속이 거의 없는 곳에서 주로 확인되었다. 수변

부로부터의 거리는 최소 0.1 m에서 최대 18.0 m로 나타났으며, 평균 4.4 m로 수심이 비교적 얇은 수변부에서 주로 확인되었다. 조사지역에서 모니터링을 통해 파악한 얼룩동사리의 서식처 종류는 돌, 바닥, 침수식물, 정수식물 등으로 다양하게 나타났다. 총 115회 감지 중 86.7%가 돌에서 감지되었으며, 나머지 13.3%는 정수식물, 침수식물, 바닥 등에서 감지되었다. 감지 시 얼룩동사리가 위치하고 있는 것으로 확인되는 돌의 면적은 최소 32 cm²에서 최대 4,000 cm²까지 다양한 크기의 돌에서 서식하고 있는 것으로 나타났으며 평균값의 경우 543.5 ± 70.9 cm²로 나타났으며, 각 개체의 전장에 대한 돌 면적비를 산출한 결과 최소 0.64 cm² mm⁻¹, 최대 16.41 cm² mm⁻¹이며 평균 5.1 ± 0.6 cm² mm⁻¹으로 나타났다. 얼룩동사리가 감지된 돌의 경우 일부가 바닥에 박혀있는 돌보다 대부분 바닥에 놓여있어 바닥과 돌 사이에 틈이 비교적 많은 돌을 선택하는 경향이 확인되었다.

얼룩동사리가 선택하는 돌의 특성을 파악하기 위하여 감지횟수에 따라 각각의 돌 면적 차이를 비교하였다 (Fig.

Table 4. Number of detected *O. interrupta*, mean movement distance and average movement distance per day based on *O. interrupta* total length (SE, Standard error).

TL (mm)	Detection		Mean movement distance (m) (Mean \pm SE)
	Number	Individuals	
50~69	25	6	29.7 \pm 8.1
70~89	39	12	37.7 \pm 14.7
90~109	12	5	18.6 \pm 6.5
110~129	31	11	32.0 \pm 10.2
130~149	8	4	77.3 \pm 27.3
Total	115	38	36.5 \pm 6.6

Table 5. Habitat characteristics used *O. interrupta* in each detection site (total 115 detection)

	Minimum	Maximum	Mean \pm SE
Water Depth (cm)	5	92	36.2 \pm 1.9
Velocity (m s ⁻¹)	0	0.4	0.03 \pm 0.01
Distance from watershed (m)	0.1	18	4.4 \pm 0.3
Extent of rock (cm ²)	32	4,000	543.5 \pm 70.9
Extent of rock/ Total length (cm ² mm ⁻¹)	0.64	16.41	5.1 \pm 0.6

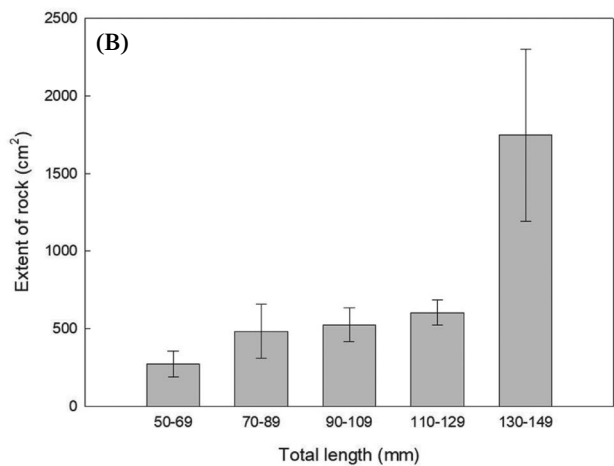
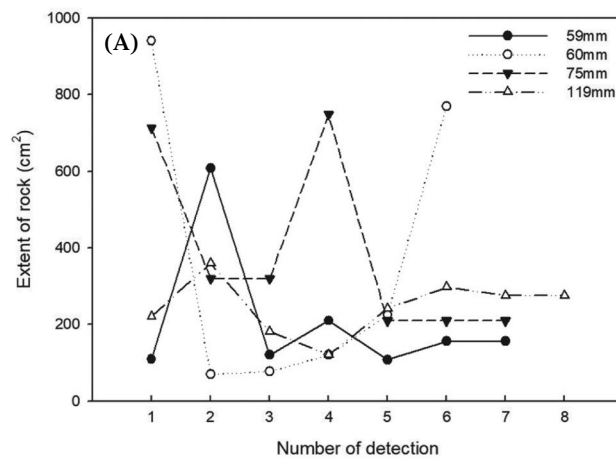


Fig. 3. Extent of rock on detected *O. interrupta* (A, $P > 0.05$). Individuals that detected 6, 7 and 8 times were used for analysis. Extent of rock on detected *O. interrupta* for the difference in total length (B, $P < 0.01$).

Table 6. Number of detected *O. interrupta* and extent of rock based on *O. interrupta* total length

TL (mm)	Number of detection	Extent of rock (cm ²)		
		Minimum	Maximum	Mean ± SE
50~69	19	32	1,560	273.4 ± 85.7
70~89	21	68	3,780	484.5 ± 172.3
90~109	8	119	900	526.1 ± 107.9
110~129	18	121	1,080	604.4 ± 82.0
130~149	6	380	4,000	1,746.5 ± 551.9
Total	72	32	4,000	568.6 ± 85.1

3A). 6회 이상 감지된 4개체 (6회: 4개체, 7회: 3개체, 8회: 1개체)를 사용하여 돌에서 얻는 총 43회의 감지를 분석에 이용하였다. 돌 면적 차이를 분석하기 위해 상관분석을 실시한 결과 감지된 돌 면적에 대해 방류 후 최초선택하는 돌의 면적과 이후에 선택하는 돌의 면적이 통계적으로 차이가 없는 것으로 나타났다 ($P > 0.05$).

또한, 얼룩동사리의 전장에 따른 서식처 선택 특성을 파악하기 위하여 전장에 따라 (50~69 mm, 70~89 mm, 90~109 mm, 110~129 mm, 130~149 mm) 5개 구간으로 나누어 돌 면적의 차이를 분석하였다. 최초 방류 후 24시간은 채집한 얼룩동사리에 Tag을 삽입하여 방류한 후 회복시간 및 적응시간으로 선정하여 방류 후 24시간 이후 데이터인 총 72회 감지를 분석에 이용하였다 (Table 6). ANOVA 분석을 통해 전장에 따라 구분된 5개 구간 사이의 돌 면적 차이를 비교한 결과 통계적으로 유의미한 차이를 나타냈다 ($P < 0.01$). 50~69 mm 크기의 얼룩동사리가 선택한 돌 면적은 최소 32 cm², 최대 1,560 cm²이며 평균 돌 면적은 273.4 ± 85.7 cm²로 가장 면적이 작은 돌을 선택하는 것으로 확인되었으며 130~149 mm 크기의 얼룩동사리가 선택한 돌 면적은 최소 380 cm², 최대 4,000 cm²이며 평균 돌 면적은 1,746.5 ± 551.9 cm²로 가장 면적이 넓은 돌을 선택하는 것으로 나타났다 (Fig. 3B).

고 찰

어류의 이동은 목적에 따라 구분되며 그 중 서식처 선택을 위한 이동은 서식처의 환경변화나 교란 등에 반응하여 생존에 적합한 서식처를 찾기 위한 이동이다. 동일한 종이라도 주변 환경에 따라 서식처를 이용하는 방식 및 규모가 달라지며 이러한 정보는 전반적인 어류 관리에 있어 매우 중요하다 (Almeida *et al.*, 2012). 서식처 범위 (home

range), 산란장, 이동시기와 같은 어류의 생태적 자료들의 파악은 종에 대한 기본적인 정보를 제공해 주고, 이를 바탕으로 대상종에 대한 맞춤형 보전전략이나 보호구역 설정 등 향후 종 다양성 보존에 있어 활용이 가능하다 (Yoon *et al.*, 2012). 원격측정 방식이 사용되면서 어류 이동과 관련된 정량적인 평가들의 진행이 가능해졌으며, 본 연구에서는 PIT telemetry를 이용하여 고유종인 얼룩동사리 (*Odontobutis interrupta*)의 이동 패턴과 서식지 특성을 파악하였다.

PIT tag의 크기는 어류에게 장애를 주지 않을 만큼 작아서 어류 내에 삽입이 가능하다고 알려져 있다 (Bubb *et al.*, 2002). 현장에서 PIT telemetry 적용의 효율성을 검증하기 위해 실험실에서 PIT tag 삽입에 따른 얼룩동사리의 생존율을 평가하였다. 폐사한 4개체 중 2개체의 전장은 60~69 mm로 실험에 이용한 얼룩동사리 중 가장 작은 크기였으며 다른 개체들에 비해 복강의 크기가 작아 tag 삽입과정에서 내장의 손상이 일어나 폐사한 것으로 추정된다. 따라서 PIT tag의 삽입 위치나 삽입과정에서 내장의 손상이 생존율 및 생존기간을 결정하는 것으로 판단된다 (Choi and An, 2014). 폐사한 나머지 2개체의 전장은 80~89 mm로 폐사한 60~69 mm 개체보다 복강의 크기는 크지만 폐사한 2개체 모두 봉합부위의 생체 접착제가 떨어져 PIT tag이 복강 밖으로 빠져나온 것이 확인되었으며 생체접합은 PIT tag의 소실이나 미생물 감염을 예방할 수 있다고 알려져 생체 접착제가 떨어진 2개체가 사망한 것으로 판단된다 (Yoon and Jang, 2009). 어종별 생존율은 종 특이성에 따라 차이를 나타내지만, 전장이 길수록 생존율과 Tag의 유지율 (Retention rate)이 높은 것으로 보고되어 개체의 크기가 생존율과 밀접한 연관성이 있는 것으로 알려져 있다 (Acolas *et al.*, 2007). 본 실험결과에서도 전장과 생존기간 간의 상관관계를 분석한 결과 전장이 길수록 생존기간이 긴 것으로 나타났다 ($r = 0.350$, $P < 0.05$). 또한, 90 mm 이상의 개체들의 생존율이 100%인 것으로 보아 전장이 90 mm 이상인 개체들을 현장 연구에 이용하는 것이 연구의 효율성을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

얼룩동사리에 대한 연구에 의하면 국내에 서식하는 얼룩동사리의 경우 하천의 중·하류의 물의 흐름이 비교적 느리고 수심이 1 m 이하인 웅덩이에 주로 서식하며 돌, 모래, 자갈이 많은 곳에 서식한다고 알려져 있다 (Choi and Na, 2000; Kim and Park, 2002; Park *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2018). 본 연구 지역의 경우 St. 1 (공암교)의 수심은 40~60 cm, St. 2 (백룡교)의 수심은 10~20 cm로 St. 2 (백룡교)의 수심이 St. 1 (공암교)의 수심보다 낮게 유지되고 있었다. 또한, 두 지역 모두 강우 시를 제외한 수위변동은 크

지 않았으며, 수심이 1 m 이하인 것으로 확인되어 얼룩동사리가 주로 서식한다고 알려진 수심과 차이가 없는 것으로 확인되었다. 유속은 St. 1(공암교)의 경우 대부분의 구간에서 0.1 m s^{-1} 이하의 값을 보였으며 일부 여울 구간에서 $0.2 \sim 0.3 \text{ m s}^{-1}$ 내외의 값을 보여 얼룩동사리가 서식하기에 적합한 유속임을 확인하였다. 그러나 St. 2(백룡교)의 경우에도 대부분의 구간에서 유속이 0.1 m s^{-1} 이하의 값을 보였으나 St. 1(공암교)보다 여울 구간이 많아 유속이 최대 0.4 m s^{-1} 의 값을 보여 유속이 느린 구간을 제외하면 얼룩동사리가 서식하기에 어려운 서식처로 판단된다. 하상은 두 지역 모두 돌, 모래, 자갈이 많아 얼룩동사리가 주로 서식한다고 알려진 서식처의 하상과 차이가 없는 것으로 확인되었다. 따라서 두 연구 지역은 수심, 유속에서 차이가 있으며 St. 1(공암교)은 St. 2(백룡교)와 달리 구간 내 식생이 매우 발달하여 얼룩동사리가 서식하기에 비교적 더 적합한 것으로 판단되며 유속은 얼룩동사리의 서식에 있어 중요한 제한요인으로 사료된다.

동사리과(Odontobutidae)에 속한 대부분의 어류는 이동 범위가 크지 않은 것으로 알려져 있다(Choi and Na, 2000; Park *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2018). 본 연구에서 사용한 총 70개체의 얼룩동사리에 대한 방류지점으로부터의 평균 총이동거리는 36.5 m로 이동성이 크지 않은 유사한 결과를 나타냈다. Downhower and Brown (1979)의 이동성 연구 결과 어류의 크기와 이동 간의 연관성이 있다고 보고되었지만 Matthew *et al.* (2009)의 mottled sculpins 이동 연구에 따르면 어류의 크기와 이동 간의 연관성이 없다고 보고되었다. 본 연구에서 사용한 얼룩동사리 중 가장 큰 개체(130~149 mm)에 대한 총이동거리가 가장 긴 것으로 나타났으며, 129 mm 이하의 개체들은 유사한 값을 보여 크기가 130 mm 이상의 큰 개체에 대해서만 차이가 나타났다. 이러한 결과는 Keeler (2006)의 연구 결과와 유사하게 실험에 적용된 개체의 전장이 50 mm 이상으로 tag이 적용된 개체의 크기가 제한되었고 개체수가 크기별로 차이가 나기 때문에 얼룩동사리의 크기와 이동 거리와의 정확한 상관성 분석을 위해서는 당년생을 포함한 다양한 크기의 얼룩동사리와 더 많은 개체수를 이용한 분석이 실시되어야 할 것으로 사료된다.

또한, 총 115회의 감지지점에서 얼룩동사리는 5~92 cm, 평균 36.2 cm의 수심을 서식처로 이용하고 있는 것으로 확인되었으며, 유속은 $0 \sim 0.4 \text{ m s}^{-1}$ 범위 내 서식하는 것으로 나타났다. 하지만 실제로 유속이 있는 지점에 대해서는 극소수의 개체만 확인되었으며, 평균 0.03 m s^{-1} 의 유속을 서식처로 이용하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 호

름이 느린 곳에 주로 서식한다는 얼룩동사리의 연구와 일치한다(Kim and Park, 2002).

얼룩동사리는 주로 돌을 서식처로 이용하며 돌에 숨어 포식을 하는 특성을 가지고 있다. 또한, 돌은 급격한 유량변화에 대한 피난처로 제공될 수 있다(Hoekstra and Janssen, 1985; Greenberg and Holtzman, 1987). 본 연구에서 얼룩동사리가 감지된 돌의 면적은 $32 \sim 4,000 \text{ cm}^2$ 으로 다양한 크기의 돌을 이용하고 있었으며 평균 543.5 cm^2 크기의 돌을 이용하는 것으로 확인되었다. 6회 이상 감지된 4개체를 이용하여 얼룩동사리가 방류 후 최초로 선택하는 돌의 면적과 이후 선택하는 돌의 면적과의 상관성을 분석한 결과 방류 후 최초로 선택하는 돌의 면적과 이후 선택하는 돌의 면적과의 상관성은 유의하지 않았다. 이러한 결과는 얼룩동사리가 방류 후 최초로 선택하는 돌이 단순히 빠르게 숨기 위해 근처의 돌을 선택하는 것이 아닌 자신에게 적합한 돌을 선택하며 이후 이동을 해도 비슷한 크기의 돌로 이동하는 것으로 판단된다. 또한, 개체크기와 감지된 돌의 면적과의 상관성을 분석한 결과 방류 후 24시간 이후의 감지 데이터(총 72회)에서 개체크기와 감지된 돌의 면적 사이에 양의 상관관계를 나타냈다. Kim *et al.* (2016)의 독중개 연구에서 독중개의 개체크기와 감지된 돌 면적과의 상관성이 없는 것으로 보고되었으나, 본 연구에서 얼룩동사리는 개체크기가 클수록 더 넓은 돌 면적을 선호하는 것으로 나타났다. 이는 돌의 면적이 넓을수록 바닥면에 얼룩동사리가 이용할 수 있는 공간이 증가하기 때문에 이러한 결과가 어류의 서식처 선택에 있어서 영향을 미치는 것으로 판단된다. 또한, 돌 면적비를 산출한 결과 얼룩동사리는 전장(mm) 대비 64~1641%의 돌 면적(cm^2)에서 서식하는 것으로 나타났으며, 향후 서식처 복원 시 최소 64% 이상 크기의 돌을 이용하여 다양한 하상구조를 조성하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

본 연구는 하천 내에서 PIT telemetry를 이용하여 국내 고유종인 얼룩동사리의 이동거리 및 서식처 특성 등을 분석하고 종다양성 보존을 위한 대상 어종의 생태 및 서식처 특성과 복원을 위한 정보를 제공하였다. 얼룩동사리의 서식지 복원을 위해서는 비록 통계적으로 차이가 없었으나 개체크기별 다양한 서식조건(수심, 유속, 돌 등)을 제공하여 개체별 다양한 하상 구조를 조성하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 본 연구와 같은 과학적인 방법을 이용하여 생태 및 서식처 특성에 대한 연구가 다양한 종에서 이루어진다면 향후 종 다양성 보존에 있어서 어류의 서식처 특성을 정밀히 파악하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 고유종인 얼룩동사리(*Odontobutis interrupta*)의 이동 패턴과 서식지 특성을 파악하기 위해 PIT telemetry를 이용하여 금강 수계의 지류 하천인 용수천의 상류 지점(충남 공주시 반포면 공암리 공암교, St. 1)과 용수천 중류 지점(세종특별자치시 금남면 두만리 백룡교, St. 2)에서 2021년 3월부터 10월까지 수행되었다. 어류 채집은 족대(망목: 5×5 mm)와 통발(5×5 mm)을 이용하였고, PIT tag 삽입은 현장에서 즉시 수행하였다. 총 21회 모니터링에서 70개체가 115회 감지되었으며, 분석결과 얼룩동사리의 평균 총이동거리는 36.5(±6.6)m로 확인되었으며, 전장에 따른 얼룩동사리의 이동거리는 크기가 큰 개체일수록 더 멀리 이동하는 것으로 나타났다($P \leq 0.05$). 얼룩동사리가 감지된 지점의 평균 수심은 36.2(±1.9)cm, 평균 유속은 0.03(±0.07) m s⁻¹, 평균 수변부로부터의 거리는 4.4(±0.3)m로 나타났다. 또한, 감지된 돌 면적에 대해 방류 후 최초선택하는 돌의 면적과 이후에 선택하는 돌의 면적을 비교한 결과 통계적으로 차이가 없는 것으로 나타났으나($P > 0.05$) 방류 후 24시간 이전 감지를 제외한 나머지 감지에 대한 전장과 돌의 면적을 비교한 결과 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($P < 0.01$). 따라서, 서식지 복원을 위해서는 개체크기별 다양한 서식조건(수심, 유속, 돌 등)을 제공하여 개체별 다양한 하상 구조를 조성하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

저자정보 김준완(공주대학교 박사과정), 김규진(공주대학교 박사과정), 최범명(공주대학교 석사과정), 윤주덕(국립생태원 책임연구원), 장민호(공주대학교 교수)

저자기여도 개념설정: 장민호, 윤주덕, 자료수집: 김준완, 김규진, 최범명, 분석: 김준완, 김규진, 최범명, 원고작성: 김준완, 과제관리: 장민호, 최종 원고 검토: 김준완, 김규진, 최범명, 윤주덕, 장민호

이해관계 이 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없습니다.

연구비 이 논문은 2021년 공주대학교 학술연구지원사업의 연구지원에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

Acolas, M.L., J.M. Roussel, J.M. Lebel and J.L. Bagliniere. 2007. Laboratory experiment on survival, growth and tag retention following PIT injection into the body cavity of juvenile brown trout (*Salmo trutta*). *Fisheries Research*

86(2): 280-284.

Almeida, D., A. Almodovar, G.G. Nicola, B. Elvira and G.D. Grossman. 2012. Trophic plasticity of invasive juvenile largemouth bass *Micropterus salmoides* in Iberian streams. *Fisheries Research* **113**: 153-158.

Baek, H.M and H.B. Song. 2005. Habitat Selection and Environmental Characters of *Acheilognathus signifier*. *Korean Journal of Limnology* **38(3)**: 352-360.

Barry, W.M. 1990. Fishways for Queensland coastal streams: an urgent review. International Symposium on Fishways. Gifu.

Bernardo, J.M., M. Ilhéu, P. Matono and A.M. Costa. 2003. Inter-annual variation of fish assemblage structure in a Mediterranean river: implications of stream flow on the dominance of native or exotic species. *River Research and Applications* **19**: 521-532.

Bubb, D.H., M.C. Lucas, T.J. Thom and P. Rycroft. 2002. The potential use of PIT telemetry for identifying and tracking crayfish in their natural environment. *Hydrobiologia* **483**: 225-230.

Choi, J.W. and K.G. An. 2014. The Evaluations of Fish Survival Rate and Fish Movements using the Tagging Monitoring Approach of Passive Integrated Transponders (PIT). *Journal of Environmental Science International* **23(8)**: 1495-1505.

Choi, S.S. and Y.U. Na. 2000. The Spawning Behavior and Egg Development of *Odontobutis interrupta* IWATA and JEON. *Korean Journal of Environmental Biology* **18(3)**: 323-330.

Connell, D.W., B.M. Bycroft, G.J. Miller and P. Lather. 1981. Effects of a barrage on flushing and water quality in the Fitzroy River estuary, Queensland. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* **32(1)**: 57-63.

Doi, T. and S. Aoyama. 2006. Embryonic larval and juvenile morphologies of the freshwater goby *Odontobutis hikimius* reared in an aquarium were observed and described. *Japanese Journal of Ichthyology* **53**: 63-70.

Downhower, J.F. and L. Brown. 1979. Seasonal changes in the social structure of a mottled sculpin (*Cottus bairdi*) population. *Animal Behaviour* **27(2)**: 451-458.

Fukushima, M., S. Kameyama, M. Kaneko, K. Nakao and E. Ashleysteel. 2007. Modelling the effects of dams on freshwater fish distributions in Hokkaido, Japan. *Freshwater Biology* **52**: 1511-1524.

Greenberg, L.A. and D.A. Holtzman. 1987. Microhabitat utilization feeding periodicity, home range and population size of the banded sculpin, *Cottus carolinae*. *Copeia* **1987(1)**: 19-25.

Han, J.H., C.S. Park, J.W. An, G.G. An and U.G. Baek. 2015. Identification Guide To Freshwater Fishes Of Korea. Nature and Ecology, Seoul, Korea. 280-283.

Hill, J., G.D. Grossman. 1987. Home range estimates for three North American stream fishes. *Copeia* **1987(2)**: 376-380.

Hoekstra, D. and J. Janssen. 1985. Non-visual feeding behavior of

- the mottled sculpin, *Cottus bairdi*, in Lake Michigan. *Environmental Biology of Fishes* **12**: 111-117.
- Iwata, A., S.R. Jeon, N. Mizuno and K.C. Choi. 1985. A revision of the eleotrid goby genus *Odontobutis* in Japan, Korea and China. *Japanese Journal of Ichthyology* **31**: 373-388.
- Iwata, A., S.R. Jeon, N. Mizuno and K.C. Choi. 1988. Larval development of a gobiid fish, *Odontobutis obscura obscura* in comparison with that of *O. interrupta* and of *O. platycephala*. *Japanese Journal of Ichthyology* **35**: 371-381.
- Jang, M.H. 2002. Ecological Study of Freshwater Fish in Korea: Fish Fauna, Prey-predator Interaction and the Responses of Cyanobacteria to Fish Grazing. PhD Thesis, Pusan National University, Busan, Korea.
- Keeler, R.A. 2006. Development and application of Passive Integrated Transponder technology to investigate the movement and reproductive ecology of adult slimy sculpin (*Cottus cognatus*) in small New Brunswick streams. Master Thesis, University of New Brunswick, Hamilton, Canada.
- Kelly, J.M. and D.M. Janz. 2008. Altered energetics and parasitism in juvenile northern pike (*Esox lucius*) inhabiting metal-mining contaminated lakes. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **70**: 357-369.
- Kenward, R.E. 2001. A manual for wildlife radio tagging, 2nd ed. Academic Press. London, UK.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. Freshwater fish of Korea, Kyohak Publishing Co., Ltd., Seoul, Korea.
- Kim, J.H., J.D. Yoon, H.B. Song and M.H. Jang. 2016. Home range and habitat use of translocated endangered species, *Cottus koreanus*, in South Korea. *Animal Cells and Systems* **20**(2): 103-110.
- Lee, S.H., D.M. Lee, T.S. Yu, J. Lee and K.H. Han. 2018. Ecology of *Odontobutis platycephala* in Bosung River, Korea. *Bulletin of the Fisheries Science Institute Chonnam National University* **26**(1): 49-54.
- Lee, W.K. 1998. Annual reproductive cycle and changes in plasma levels of sex steroid hormones of the female Korean dark sleeper, *Odontobutis platycephala* (Iwata et Jeon). *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **31**: 599-607.
- Lucas, M. and E. Baras. 2001. Migration of Freshwater Fishes. Blackwell Science, Oxford, UK.
- Lymbery, A.J., M. Hassan, D.L. Morgan, S.J. Beatty and R.G. Doupe. 2010. Parasites of native and exotic freshwater fishes in south western Australia. *Journal of Fish Biology* **76**: 1770-1785.
- Mashiko, K. 1976. Reproductive behavior of an eleotrid goby *Odontobutis obscurus* in aquaria. *Japanese Journal of Ichthyology* **23**: 69-78.
- Matthew, J.B., R.R. Carl, J.T. Kurt and L.K. Steveb. 2009. Movement of mottled sculpins (*Cottus bairdii*) in a Michigan stream: how restricted are they?. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **66**: 31-41.
- Morhardt, J.E., D. Bisher, C.L. Handlin and S.D. Mulder. 2000. A portable system for reading large PIT tags from wild trout. *North American Journal of Fisheries Management* **20**: 276-283.
- National Institute of Ecology (NIE). 2020. 4th Data book of national ecosystem survey. National Institute of Ecology, Seocheon, Korea.
- Natsumeda, T. 2003. Effect of a severe flood on the movements of Japanese fluvial sculpin. *Environmental Biology of Fishes* **68**: 417-424.
- Park, J.M., J.H. Han, S.M. Yun and K.H. Han. 2017. Early Osteological Development of Larvae and Juveniles in the Korean Spotted Sleeper *Odontobutis interrupta* from Korea. *The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science* **50**(4): 396-405.
- Park, J.M., K.H. Han, N.R. Kim, D.J. Yoo, S.M. Yun and J.H. Han. 2014. Egg development and early life history of Korean endemic species Korean spotted sleeper, *Odontobutis interrupta* (Pisces: Odontobutidae). *Development and Reproduction* **18**: 259-266.
- Pires, A.M., I.G. Cowx and M.M. Coelho. 1999. Seasonal changes in fish community structure of intermittent streams in the middle reaches of the Guadiana basin, Portugal. *Journal of Fish Biology* **54**: 235-249.
- Sakai, H., Y. Tanaka, H. Tsujii, A. Iwata and I. Ikeda. 1999. Distribution pattern of two genetically different groups of *Odontobutis obscura* in Takatsu river and its vicinity. *Japanese Journal of Ichthyology* **46**: 109-114.
- Sakai, H., A. Iwata and S.R. Jeon. 1993. Genetic evidence supporting the existence of three distinct species in the genus *Odontobutis* (Gobiidae) from Japan and Korea. *Japanese Journal of Ichthyology* **40**: 61-64.
- Voskoboinikova, O.S. and D.A. Pavlov. 2006. Larval development of the Amur sleeper *Percottus glenii* (Perciforms, Gobioidae, Odontobutidae) and the origin of fish of the suborder Gobioidae. *Journal of Ichthyology* **46**: 826-841.
- Yi, Y., Z. Yang and S. Zhang. 2010. Ecological influence of dam construction and river-lake connectivity on migration fish habitat in the Yangtze River basin, China. *Procedia Environmental Sciences* **2**: 1942-1954, Beijing, China.
- Yoon, J.D., J.H. Kim, D.S. In, J.J. Yu, M.S. Hur, K.H. Chang and M.H. Jang. 2012. Evaluation of Movement Pattern of *Erythroculter erythropterus* Inhabit in the Mid-lower Part of Nakdong River Using Acoustic Telemetry. *Korean Journal of Limnology* **45**(4): 403-411.
- Yoon, J.D. and M.H. Jang. 2009. Survival Rate of the Korean Cyprinidae Subject to Passive Integrated Transponder (PIT) Tagging. *Korean Journal of Limnology* **42**(1): 134-138.