

Radio tag을 이용한 낙동강 상류에 서식하는 열목어의 이동양상

윤 주 덕 · 장 민 호^{1,*}

(부산대학교 생물학과, ¹공주대학교 생물교육과)

Migration Patterns of *Brachymystax lenok tsinlingensis* Using Radio Tags in the Upper Part of the Nakdong River. Yoon, Ju-Duk and Min-Ho Jang^{1,*} (Department of Biology, Pusan National University, Busan 609-735; ¹Department of Biology Education, Kongju National University, Gongju 314-701)

The telemetry of eight adult manchurian trouts (*Brachymystax lenok tsinlingensis*) in the upper part of the Nakdong River, which is the southern limit of distribution of manchurian trout on the Korean peninsula, was used to examine migration patterns and evaluate characteristics of over-wintering and the spawning season between December, 2007 and May, 2008. Based on the tracking data, the tagged fish showed a limited migration between adjacent pools, moving only up to 8.6 m day⁻¹ during the winter season (December to February). Hydraulic conditions of over-wintering pool areas were, ca. 1 m depth, slow moving surface water with areas of sand and gravel. The migration of tagged individuals was successful, moving up to 96.2 m day⁻¹ during the spawning season. Two tagged individuals (BL4, BL6) exhibited upstream migration, whereas others showed downstream movements. The timing of upstream migration of the two individuals was consistent with an increasing phases of water level and discharge. The fishes migrating toward the down stream moved to the wide pool areas downstream, where they spent the summer season for the growth.

Key words : *Brachymystax lenok tsinlingensis*, radio telemetry, migration, spawning

서 론

어류 이동은 산란, 먹이섭취, 환경변화 등과 관련하여 서식처의 시·공간적인 변화와 수반되어 나타난다(Northcote, 1978, 1984; Lucas and Baras, 2001). 이동성이 있는 어류는 생활사에 따라 크게 3가지로 나누어지며 그 특성에 따라 바다에서만 이동하는 참치와 같은 해양회유성어류(Oceanodromy), 연어나 송어와 같이 담수와 해수를 옮겨 다니는 양측회유성어류(Diadromy)와 담수내에서만 이동하는 하천회유성어류(Potadromy)로 나눌 수 있다

(Myers, 1949; Moyle and Cech, 2000; Lucas and Baras, 2001). 어류의 이동을 연구하는 방법은 과거 어체의 일부를 잘라냄으로서 표식하는 방법부터, 어체의 지느러미에 꼬리표를 부착하는 방법 등을 거쳐 현재에는 각종 표식(tag)을 이용한 방법들이 사용되고 있다(Lucas and Baras, 2001). 최초의 라디오 발신기(radio tag)는 육상동물과 새의 생리적 측면을 연구하는 것으로부터 시작되었다. 이후 야생에 적용된 것은 FM(Frequency modulation)을 이용하기 시작한 1960년대 초부터였다(Kenward, 2001). 이러한 전기적인 방법을 이용하는 라디오 발신기(radio tag)의 발달은 어류 행동과 이동에 관한 연구에도 매우 중요

* Corresponding author: Tel: 041) 850-8285, Fax: 041) 850-8842, E-mail: jangmino@kongju.ac.kr

한 진보를 가져왔다(Trefethen, 1956; Stasko and Pincock, 1977; Baras, 1991; Priede and Swift, 1992; Winter, 1996). 라디오 발신기 (radio tag)를 통한 위치추적은 하천이나 얕은 저수지에서 어류 이동에 관한 연구를 하기에 적합한 도구로 대상 어류의 생활영역이나 이동양상을 파악하는 데 효과적인 방법이다(Kenward, 2001; Lucas and Baras, 2001). 이미 유럽이나 북미, 오세아니아 등지에서는 널리 사용되고 있으나 국내를 포함한 아시아 국가에서는 활용빈도가 높지 않다.

본 연구대상으로 선정된 열목어 (*Brachymystax lenok tsinlingensis*)는 북방계의 냉수성 어종으로 만주와 시베리아 지역의 하천에 분포하고 있는 종과(Li, 1984) 동일한 종류인 육봉형의 연어과 어류이다. 일반적으로 여름에도 수온이 20°C 이하의 지역에 용존 산소의 농도가 10 ppm 내외를 유지할 수 있는 곳에서 주로 서식한다. 한강, 낙동강, 섬진강 등에 분포하고(정, 1977; 최 등, 1984) 있으며, 낙동강 봉화지역은 본 종이 서식할 수 있는 남방한계선으로 중요한 학술적 의미를 지니고 있다. 현재 봉화지역의 열목어는 상류지역의 광산개발과 산업발전 등으로 높아진 수질오염에 의해 개체가 급감한 것을 한강수계의 내린천 상류지역에서 개체이식을 통하여 개체군을 복구한 것이다(천연기념물센터, 2004). 본 종은 중국에서는 멸종위기종에 포함되어 있으며(Yue and Chen, 1998; Wang and Xie, 2004) 국내에서는 과거 보호종으로 지정

되었다가 점진적인 개체수 증가로 인하여 리스트에서 해제되었다. 현재까지 본 종에 대한 연구는 주로 형태적, 유전학적, 생리학적인 특징에 치우쳐 있으며 생태학적인 측면은 연구가 거의 전무한 실정이다.

현재까지 열목어가 산란시기에 어떠한 외부적인 요인(external factor)에 의하여 언제 이동하는지 또한 얼마만한 거리를 이동하며 어디까지 이동하는지에 대한 내용은 밝혀진 바가 없다. 이를 위하여 본 연구에서는 라디오 발신기 (radio tag)를 외과수술을 통하여 어류에 이식한 후 산란기 전후의 열목어 이동을 파악하며 선호하는 서식처 특성과 산란시기 등을 파악하는 데 그 목적이 있다. 또한 열목어의 보존방안과 하천관리를 위한 자료를 습득하여 이러한 결과를 다른 계곡에 서식하는 열목어에 적용하여 보다 효율적인 열목어 보존과 하천 복원에 대한 기본 자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사지점

열목어의 이동을 조사하기 위하여 대상으로 선정한 조사 지점은 열목어의 서식처이면서 산란장으로 알려진 낙동강의 지천인 송정리천 일부구역과 백천계곡(병오천)과 여러 하천(철암천, 석포리천 및 송정리천)이 합수되는 낙

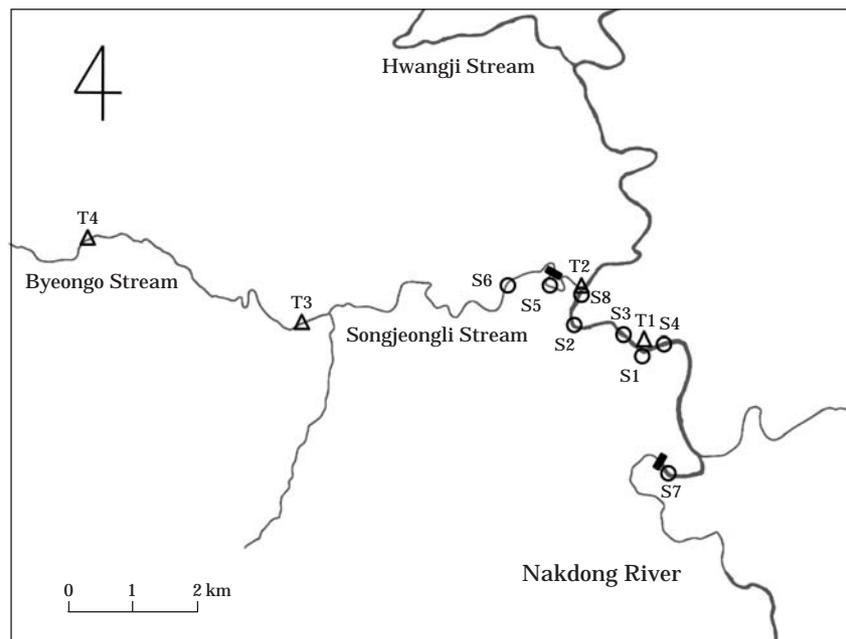


Fig. 1. The map of study sites (S : sampling and major detection sites; T : temperature logger installed sites).

Table 1. Details of the total length (TL), standard length (SL), total weight (g), radio tag frequency and migration distance of *Brachymystax lenok tsinlingensis* captured in 2007 and 2008 in the upstream of the Nakdong River.

Fish code	TL (mm)	SL (mm)	TW (g)	Frequency (MHz)	Date of tagging	Date of harvested/ disappeared	Migration distance (m)
BL1	300	236	226	148.9075	Dec. 20, 2007	2008. 03. 08 [#]	192
BL2	277	221	152	148.9317	Dec. 20, 2007	2008. 03. 08	584
BL3	269	210	161	148.9507	Dec. 20, 2007	2008. 03. 07 [#]	1217
BL4	413	339	576	148.0600	Mar. 07, 2008	2008. 03. 30 [*]	4645
BL5	298	253	260	148.0886	Mar. 07, 2008	2008. 04. 25	3743
BL6	305	263	276	148.0405	Mar. 07, 2008	2008. 04. 25	2232
BL7	366	316	470	148.0761	Mar. 08, 2008	2008. 05. 02	2815
BL8	300	242	217	148.1890	Mar. 08, 2008	2008. 03. 09 [*]	109

[#]: harvest only radio tag; ^{*}: disappeared radio signal

동강 본류지역이다 (Fig. 1). 본 지역은 연평균 기온이 9.3°C (2007년 기준)를 넘지 않고 여름철 최고 기온도 25.8°C로 한국의 다른 지역에 비해 상대적으로 기온이 낮은 지역이다 (기상청 2007자료). 병오천은 큰돌과 작은 돌, 자갈의 비율이 높고 유속이 좁고 수심이 얕은 전형적인 계곡성 하천이며, 낙동강은 하상구조는 비슷하지만 유속과 수심은 병오천에 비해 상대적으로 큰 형태였다. 어류의 채집과 라디오 발신기 (radio tag) 부착은 지점 S1과 S8에서 실시되었고 T1~T4는 자동 수온측정기가 설치된 지점이다 (Fig. 1). 본 조사는 열목어의 산란시기의 이동을 파악하기 위하여 월동하는 시기인 2007년 12월부터 산란시기인 2008년 3, 4월과 산란이 끝난 이후인 5월까지 시행되었다.

2. 열목어 라디오 발신기 (radio tag) 부착 및 서식처 특성

어류의 채집은 천연기념물 보호구역 제외된 낙동강 본류지역에서만 열목어가 서식하고 있는 장소에서 투망을 이용하여 채집하였다. 열목어의 라디오 발신기 (radio tag) 부착은 채집된 현장에서 즉시 실시하였고, 채집 장소와 동일한 장소에 방류하였다. 열목어가 채집된 지역과 방류지역, 각 조사시 출현한 지역은 GPS (GPSmap 60CSx, Garmin Corp., Taiwan)를 이용해 위도와 경도를 매번 기록하였다. 채집된 어류 중 실험에 사용된 어류는 산란에 참여할 것으로 예상되는 8개체였으며, 이들 개체를 제외한 나머지 개체들은 다시 돌려보냈다.

라디오 발신기 (radio tag) 부착을 위해 채집된 개체들은 즉시 산소발생기가 장착되어 있는 플라스틱 수조 (크기: 1×1×0.8 m)로 이동시킨 후 수술 전 안정을 위해 30분 동안 순치시켰다. 이후 현장에서 Ethyl 30aminoben-

zoate methane sulfonate salt (Sigma-Aldrich, Germany)를 0.1 g L⁻¹의 양으로 첨가한 용액을 이용하여 마취시킨 다음 전장 (Total length)과 체장 (Standard length), 체중 (Total weight)를 측정하였다 (Table 1).

라디오 발신기 (radio tag)는 외과적 수술과정을 통하여 열목어의 복강에 삽입되었다. 라디오 발신기 (radio tag)의 삽입은 열목어의 가슴지느러미 아래쪽의 복강부위를 1 cm 가량의 절개하여 라디오 발신기 (radio tag)이 삽입될 정도의 공간을 확보한 후 라디오 발신기 (radio tag)를 복강 내에 주입하고 봉합사 (SK442, AILEE Co., Korea)를 이용하여 봉합하였다. 봉합 후 생체용 접합제 (Vetbond, 3M, USA)를 이용하여 수술부위를 완전히 접합하기 이전에 수술부위의 감염을 막기 위하여 체중에 1%에 해당하는 양의 항생제 (Kanamycin sulfate, Sigma-Aldrich, Germany)를 수술부위에 투약하였다. 수술이 마무리된 다음 산소공급이 충분히 이루어지고 있는 플라스틱 수조 (크기: 1×1×0.8 m)에서 완전히 회복될 때까지 기다린 후 채집지와 동일한 장소에 방류하였다. 전체적인 수술시간은 3분 이내로 열목어의 원활한 회복을 위하여 가능한 빠르게 수술을 실시하였으며 수술과정 중 다른 원인으로 인한 감염을 최소화하기 위하여 모든 수술도구는 70%의 에탄올을 이용하여 소독하였다.

연구에 사용된 라디오 발신기 (radio tag; biotrack Ltd., UK)은 17×9 mm로 190 mm의 유연성이 있는 안테나가 부착되어 있으며 무게는 1.8 g으로 체중의 0.7% 이내의 범위였다. 라디오 발신기 (radio tag)는 5초에 한번씩 신호를 발생하며 최대 12~13주 정도 작동하도록 제작되었다. 라디오 발신기 (radio tag) 부착은 총 3회로 나눠져 실시하였으며 산란기 이전까지 월동 행동을 파악하기 위하여 2007년 12월 20일에 3개체에 라디오 발신기 (radio tag)를 삽입하였고 이후 2008년 3월 7일과 8일, 30일에

Table 2. Stream width and depth, water velocity, substrate composition and flow type of each sites in the upstream of the Nakdong River.

	Tagging site		Over-wintering site		Spawning and after spawning site		
	S1	S2	S3	S4	S5*	S6	S7
GPS coordination	N 37° 03'38.1" E 129° 03'21.0"	37° 03'61.5" 129° 02'52.0"	37° 03'56.8" 129° 02'95.6"	37° 03'41.5" 129° 03'24.2"	37° 03'94.3" 129° 02'30.7"	37° 03'92.5" 129° 01'93.5"	37° 02'49.3" 129° 03'33.7"
Width (m)	14.5	15~18	40~45	16	35	3	56.6
Depth (cm)	15~63	81~151	0.92~1.46	101~115	77~99	58~110	40~81
Surface water velocity (m S ⁻¹)	0.13~0.34	0.03~0.23	0	0.11~0.2	0.09~0.27	0.01~0.13	0.01~0.04
Deep water velocity (m S ⁻¹)	0.08~0.14	0.01~0.07	0	0.08~0.16	0.03~0.09	0.01~0.08	0
Substrate composition (B:C:P:G:S)	45:25:20:5:5	20:10:10:20:40	20:5:5:10:60	20:10:10:10:50	10:15:15:20:40	20:10:10:10:50	15:40:10:40:5
Habitat type	Riffle, run	Run, pool	Pool	Run, pool	Riffle, run	Pool	Pool

B, Boulder+bedrock (>256 mm); C, cobble (64<C<256 mm); P, pebble (16<P<64 mm); G, gravel (2<G<16 mm); S, sand (<2 mm), *: weir height=130 cm

산란기 이동을 파악하기 위해 총 5개체에 라디오 발신기 (radio tag)를 부착하였으며 각 라디오 발신기 (radio tag)의 주파수는 8개 모두 148 MHz대역이었다.

라디오 발신기 (radio tag) 추적 범위는 탐문을 통해 열목어가 포획되었다는 가장 남단지역인 승부역에서부터 구문소(동점터널)지역까지 약 19.8 km와 산란지로 잘 알려져 있는 백천계곡 및 송정리천 구간인 11.7 km로 총 31.5 km를 대상으로 하였다. 최초 라디오 발신기 (radio tag)를 부착하여 방류한 이후부터 산란기가 끝나는 시점인 2008년 4월 말까지 매주 라디오 발신기 (radio tag)가 부착된 개체들을 추적하였다. Biotrack사에서 개발한 Sika 라디오 수신기와 3-element Yagi 안테나를 이용하여 하천을 따라 도보로 이동하면서 라디오 발신기 (radio tag) 신호를 확인하였으며, 열목어가 발견된 지점은 GPS자료를 저장하여 각 위치를 기록하였다.

열목어의 서식처 특성을 파악하기 위하여 열목어가 장기간 머무른 지점을 대상으로 하상구조, 수심, 유속과 흐름의 형태를 측정하여 지점의 특성을 파악하였다. 수심측정은 측량시 사용되는 막대자 (staff)를 이용하여 각 지점별로 측정하였으며 유속은 유속계 (model 2100, Swoffer Inc., USA)를 이용하여 수표면의 유속과 심층부의 유속을 각각 측정하였다. 또한 조사지역의 수온 측정을 위해 자동수온측정기 (UA 002-64, Onset Computer, USA)를 설치하여 1시간 간격으로 수온이 변화되는 양상을 파악하였다. 또한 열목어의 이동시기의 특성을 파악하기 위하여 수위와 유량, 우량 일자료를 환경부와 기상청에서 운용중인 측정망자료를 이용하여 분석에 사용하였다.

결 과

1. 열목어의 서식처

산란기 이전에 라디오 발신기 (radio tag)를 부착한 열목어가 주로 서식하고 있던 지역은 주로 여울 (riffle)이후에 형성되어 있는 소 (pool)로 약 1 m 정도 깊이에 수표면의 유속은 다소 빠르지만 심층부의 유속은 빠르지 않은 형태를 띠고 있었다. 또한 대부분 큰 암반과 인접하고 있는 지역으로 암반 아래쪽 유속이 느린 지역에 모여 있었다. 전반적인 하상 구조는 서식처 특성상 모래가 50% 정도로 가장 높은 비율을 차지하였고 나머지가 골고루 분포하고 있었다 (Table 2, S2, S3, S4). 산란기가 가까워지면서 이동 중에도 잠시 머무르는 지역은 대부분 모래가 많고 깊은 지역의 유속이 느린 지역들이었다 (Table 2, S5, S6). 또한 대부분의 열목어들이 산란기 이후에 가장 넓고 유속이 완만한 지역으로 이동하였다.

2. 열목어의 월동기 이동 특성

열목어의 산란기 이전 월동시기의 행동을 파악하기 위해 2007년 12월 20일에 라디오 발신기 (radio tag)를 부착한 3개체의 결과에 의하면 전반적으로 각 개체가 뚜렷하게 이동하는 양상을 보이지 않았다. 월동기 동안 라디오 발신기 (radio tag)를 부착한 열목어는 이동을 하더라도 인접한 소와 소 사이를 오가는 정도였으며, 8.6 m day⁻¹로 이동한 것으로 나타났다. BL1은 라디오 발신기 (radio tag)

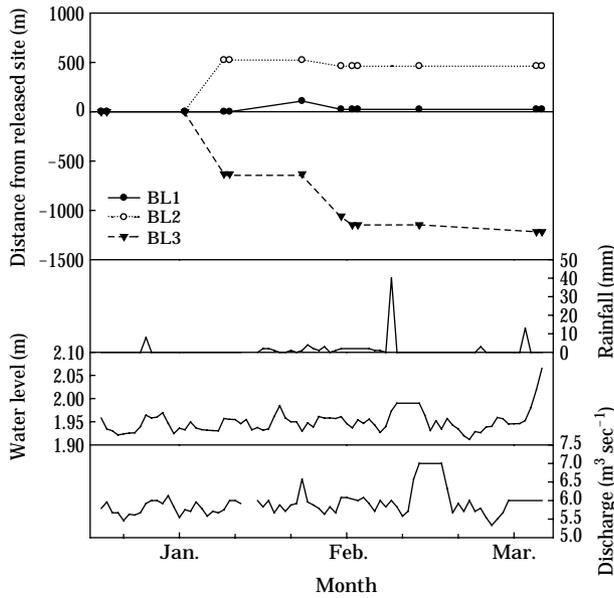


Fig. 2. Detection of three tagged *Brachymystax lenok tsinlingensis* during winter season.

를 부착한 지점에서 거의 움직이지 않았고, 큰 활성도를 보이지도 않았다. 수온이 약간 올라가는 시기인 2008년 1월 25일경 약 100 m 정도 상류로 이동하는 경향을 보였지만 이후 2월 1일부터 다시 80 m 정도 하류에서 신호가 잡혔고 이후 3월 8일 어류로부터 분리된 tag이 회수되었다. 동일한 날 라디오 발신기 (radio tag) 부착을 실시했던 BL2는 이후 1월 4일까지 동일위치에 머물러 있다가 1월 11일 520 m 상류로 이동하여 다른 지역에 비해 상대적으로 넓고 깊은 소에서 (Table 2, S3) 1월 25일까지 감지되었다. 2월 1일 약 60 m 정도 하류로 이동한 이후 3월 8일 사체가 얼음사이에서 발견되었다. BL3 또한 1월 4일까지는 동일 장소에 머무른 후 이동하기 시작하여 1월 11일 630 m 하류의 소로 이동한 것이 확인되었다. 25일까지 동일한 장소에 머물다가 2월 1일 430 m 정도 하류로 이동하였고 3일 다시 90 m 하류로 이동한 후 3월 7일 70 m 정도 하류로 좀 더 이동한 다음 회수되었다. 전반적으로 산란기 이전에는 크게 이동하는 경향을 보이지는 않았다. 대부분 이동을 하더라도 인접한 소와 소 사이를 오가는 정도였으며 산란기에 머무르는 지역은 물리적 특성이 거의 동일한 지역들이었고 주로 여울이 끝나는 지점에 형성된 소에서 주로 신호가 발생하고 있었다 (Table 2, S2, S3, S4). 2월 중반까지는 수온, 강수량, 유량, 수위가 크게 변하지 않았고 2월 말부터 수온이 약간씩 상승하기 시작했지만 각 개체가 눈에 띄는 이동을 보이진 않았다 (Fig. 2).

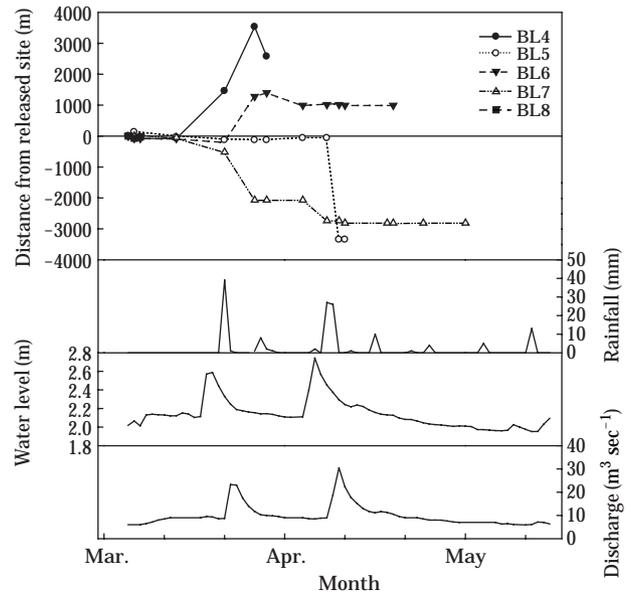


Fig. 3. Detection of 5 tagged *Brachymystax lenok tsinlingensis* during spawning and after spawning periods.

3. 열목어의 산란기 이동

산란시기에는 열목어의 이동이 크게 달라졌다. 전체적으로 이동하는 거리도 늘어났을 뿐만 아니라 활동성도 높아져 1일 평균 96.2 m 이동한 것으로 나타났다. 2008년 3월 7일과 8일 양일간 열목어의 산란시기의 이동을 파악하기 위한 라디오 발신기 (radio tag)를 부착한 어류 추적 결과에 의하면 BL4는 갑작스럽게 사라진 3월 30일 이전까지 총 4,645 m를 이동한 것으로 나타났다. 라디오 발신기 (radio tag)를 부착한 개체가 방류 후 초기에는 약간 아래쪽 소 (Table 2, S4)에서 3월 15까지 머물다가 1주일 후인 23일에는 1,530 m 상류인 백천계곡 입구쪽에서 신호가 감지되었다. 다시 1주일 후에는 2,070 m 정도 상류인 백천계곡 상류의 소 (Table 1, S6) 지역에서 나타났다가 28일 960 m 정도 하류로 이동 후 갑작스럽게 신호가 사라졌다. 같은 날 라디오 발신기 (radio tag)를 부착한 BL6도 유사한 형태의 이동이 관측되었다. 유사한 이동패턴을 보인 개체인 BL6은 신호가 사라진 날인 4월 19일 이전까지 총 2,232 m 이동하였으며 BL4보다 약간 늦은 시기에 백천계곡 입구까지 1,470 m 상류이동을 나타낸 후 백천계곡으로는 올라가지 않고 4월 9일에는 400 m 정도 하류지역인 소에서 계속 머물렀다. 3월 23일부터 나타난 열목어의 상류이동은 3월 23일 강우와 동시에 나타난 수위와 유량 증가 (Fig. 3) 이후 나타났으며 이 시기는 기온의 증가로 인하여 대다수의 눈이 녹으면서 거의 단절되

어 있던 백천계곡과 낙동강이 연결되는 시기와 거의 일치한다.

산란기에 뚜렷한 상류이동을 보인 2개체를 제외한 나머지 개체들은 상류로의 이동보다는 대부분 하류로 이동하는 경향을 나타냈다. 특히 BL5와 BL7의 경우 전부 2,000 m가 넘는 하류로의 이동을 보인 개체들로 BL5와 8은 4월 19일 라디오 발신기 (radio tag)를 부착한 후 방류지점에서 3,300 m 하류지역 (Table 2, S7)에서 신호가 감지되었고, BL7은 3월 23일과 30일, 4월 11일에 각각 470 m, 1,550 m, 660 m씩 하류로 이동하였으며 대부분이 하류지역의 넓은 소 (Table 2, S7)로 이동하여 여름철 성장기를 보내는 것으로 나타났다.

고 찰

Northcote (1978, 1984)에 의하면 어류가 이동하는 데 주요한 3가지 요소는 산란과 포식, 서식처이다. 특히 어류는 산란을 위해 종에 따라 적게는 몇 십 m에서 많게는 수천 km를 이동하며 이런 이동은 다양한 외부환경에 의해 조절된다. 이런 외부환경 요인 중 담수생태계에서는 수온과 유량이 서로 밀접한 관계를 맺고 있으면서 이는 어류의 이동을 유발하는 요인으로 중요한 역할을 한다 (Banks, 1969; Northcote, 1984; Hawkins and Smith, 1986; Jonsen, 1991). 본 연구에서는 열목어의 산란과 관련하여 이동성향을 파악하기 위해 radio telemetry를 이용하여 이동시기와 산란장소를 찾고자 노력했다. 현재까지 알려진 바에 의하면 국내에 서식하는 열목어는 4월과 5월이 산란시기라 알려져 있다 (김과 박, 2002). 본 tracking 결과도 이와 비슷한 결과를 보여, 전반적으로 3월 중순까지는 별다른 이동을 보이지 않다가 3월 말경부터 쌓였던 눈이 녹는 시기에 맞춰서 산란을 위한 적합한 서식처를 찾아 이동하는 것으로 나타났다. 이 시기는 기온 상승으로 인해 쌓였던 눈이 녹고 또한 이 시기에 내린 비로 인하여 유량이 증가하여 겨울동안 거의 단절되어 있던 낙동강과 백천계곡이 이어지는 시기였다 (Fig. 3). 일부 연어과의 어류가 봄철 눈이 녹을 시기에 상류로 이동한 후 산란시기를 기다리는데 (Hawkins and Smith, 1986; Laughton and Smith, 1992) 백천계곡으로 이동하는 열목어도 이와 유사한 이동 패턴을 나타내고 있었다. BL4의 경우 이동하는 중간에 수표면으로부터 높이가 130 cm에 이르는 보를 넘어갔다. 이동하는 시기에 전체적으로 유량이 증가하여 보와 수표면의 높이가 조금 낮아졌을 수 있지만 실질적으로 1 m 정도의 보를 넘었다는 것은 웬만한 높이차이가

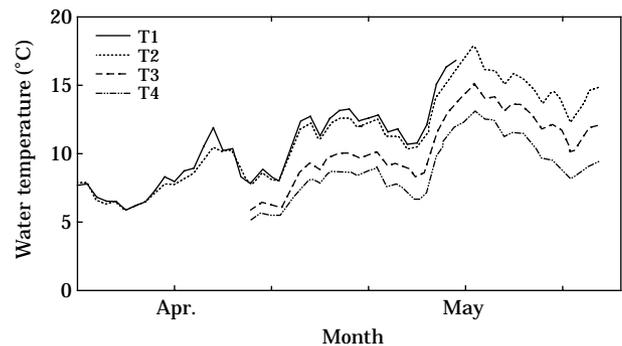


Fig. 4. Water temperature of four locations (T1, T2 : Nakdong River; T3, T4 : Byeongso Stream).

있어도 수량만 유지되면 충분히 뛰어 넘어 이동할 수 있는 것을 의미한다. 이는 현재 낙동강 본류와 백천계곡에 설치되어있는 보는 이동에 전혀 지장을 주지 않기 때문에 향후 하천 복원시 보의 설치 및 개선에 있어서 고려해야 할 것으로 판단된다.

조사결과에 의하면 라디오 발신기 (radio tag)를 부착한 열목어들은 모두 산란에 참여할 수 있는 2년생 이상의 개체들 (Zhao and Zhang, 2008)이었지만 BL4와 BL6 2개체만 백천계곡으로 이동하였다. 이는 모든 열목어가 산란을 위해 백천계곡으로 이동하는 것이 아님을 의미하는 것으로 산란에 적합한 지역인 자갈과 모래가 적절히 혼재되어 있는 지역 (최 등, 1990; 김과 박, 2002; Esteve and McLennan, 2008; Zhao and Zhang, 2008)이 존재하면 산란에 사용하는 것으로 판단된다. 실제로 탐문조사 결과 산란시기가 되면 백천계곡 지역에 출현하는 열목어의 개체수가 늘어나는데 이는 산란온도 및 활동성과 관련이 있을 것으로 판단된다. 열목어는 주로 10°C 이하의 수온에서 산란 (최 등, 1990; Esteve and McLennan, 2008; Zhao and Zhang, 2008)하는데 낙동강 본류와 백천계곡의 수온을 비교하면 낙동강의 경우 이미 4월 초부터 산란에 적합한 온도를 넘어서는 것으로 나타났다. 반면 백천계곡은 4월 말까지 적절한 수온을 유지하는 것으로 보아 낙동강 본류지역보다 늦은 시기까지 산란이 가능한 것으로 판단된다 (Fig. 4). 하지만 본 라디오 발신기 (radio tag)를 부착한 어류 추적 결과, 라디오 발신기 (radio tag)를 부착한 개체들 중 대다수가 상류로 이동하지 않은 것은 굳이 상류로 이동하지 않더라도 산란시기를 조금만 앞당기면 본류에서도 산란이 가능하기 때문이었던 것으로 판단된다. 이러한 결과를 바탕으로 백천계곡으로 산란을 위해 열목어가 올라온다고 알려지고 있는 것은 겨울철 활동성 둔화로 보이지 않던 열목어가 산란기에 본격적으로 활동함

으로 인해 많이 목격되어 산란을 위해 개체가 이동하여 증가한 것으로 보일 수 있을 것으로 판단된다.

또한 본 연구결과 중 흥미로운 점은 첫 번째 유량 증가 이후 두 번째 유량 증가시점 이후가 되면 대부분의 열목어가 하류지역으로 이동하여 넓은 소로 서식처를 옮겼다는 것이다. 이는 먹이경쟁과 건조에 대한 대비를 위한 어류의 이동 전략으로 판단된다(Montgomery *et al.*, 1983). 우리나라의 기후특성상 봄철 눈이 녹고 나면 이후 봄철 가뭄이 오면서 하천의 유량이 상당히 줄어든다. 이 시기가 되면 백천계곡과 낙동강이 유량부족으로 다시 단절되기 때문에 낙동강에 비해 상대적으로 크기가 작은 지류에서 다수의 개체들의 먹이경쟁이 시작되고 이는 개체의 성장에 영향을 줄 수 있기 때문에 이를 방지하기 위하여 두 번째 유량이 증가한 시점에서 넓은 소를 찾아 하류로 이동한 것으로 판단된다.

열목어가 산란기를 전후로 하여 서식처가 여울 이후에 생성된 소에서 여울이 없는 넓은 소로 바뀌는 데에는 계절적인 특성과 먹이의 특성이 많은 영향을 끼친 것으로 판단된다. 변 등(1995)의 연구에 의하면 열목어는 전형적인 추격포식자로 여름에는 활동성이 높아져 이동이 빠른 먹이를 섭취하지만 수온이 낮아지면 활동성이 약한 먹이로 먹이원을 변경하는 특성이 나타난다. 이는 본 연구에서 나타난 바와 같이 겨울철에는 활동성이 떨어지면서 먹이를 최대한 쉽게 먹을 수 있는 지역을 선호하게 되고 여름철에는 활동성이 높아지면서 좀 더 넓은 지역으로 이동하여 먹이를 찾는 것으로 판단된다(Table 1).

라디오 발신기 추적(radio telemetry)을 위한 주파수는 나라마다 허용되는 주파수 대역이 다르기 때문에 조금씩 차이가 난다. 영국에서는 173 MHz를 주로 사용하고 프랑스, 네덜란드, 스페인에서는 148 MHz, 북미에서는 150~151 MHz 대역을 사용한다(Kenward, 2001). 본 연구에서 사용한 148 MHz와 173 MHz대역 중 173 MHz는 라디오 발신기(radio tag)를 부착한 후 거의 1시간만에 신호가 사라졌다. 실제로 173 MHz 대역은 국내 산업적인 측면에서 다양하게 사용되고 있기 때문에(한국전파진흥협회, 2005) 쉽게 간섭을 받을 수 있어 이 주파수 대역을 국내에서 라디오 발신기 추적(radio telemetry)에 적용하기는 적합하지 않은 것으로 판단된다. 현재까지 국내에는 생물연구를 위한 주파수 대역이 정확하게 나누어진 영역이 없어 약간은 혼란스럽다. 148 MHz 또한 실제로는 다른 용도로 사용되기 때문에 향후 연구에 있어서 문제가 있을 수 있다고 판단된다. 따라서 이와 같은 문제를 해결할 수 있는 방안의 마련이 현재 시급한 문제이다.

라디오 발신기(radio tag)의 수명인 3개월 이전에 신호

가 사라진 개체는 2개체였으며, 열목어로부터 라디오 발신기(radio tag)가 분리되어 라디오 발신기(radio tag)만 회수된 개체 역시 2개체였고, 라디오 발신기(radio tag)가 부착된 채로 사망한 개체는 1개체였다. 나머지 라디오 발신기(radio tag)들은 추적을 끝낸 시기까지 계속적으로 신호를 발생하였고 신호의 위치가 계속적으로 변하고 있는 것으로 보아 계속적으로 활동하고 있는 것으로 나타났다. 이는 배터리 불량(Kenward, 2001)과 관련된 문제일 수도 있고 수달과 같은 포식자에 의한 영향(Kenward, 2001)이 있을 가능성이 존재한다. 하지만 예비실험결과 동일지역에서 하나의 라디오 발신기(radio tag)가 모래언덕에서 발견되었는데, 수달 발자국과 더불어 케이블 안테나에 이빨 자국이 남아 있는 것으로 보아 수달의 섭식으로 인해 라디오 발신기(radio tag)가 부착된 개체가 사망한 것으로 판단되었다. 또한, 지역 주민과 낚시꾼들의 포획에 의한 문제가 보다 심각하게 나타났다. 수달과 같은 포식자가 열목어를 포식했을 경우 기관을 손상시키지 않았다면 신호가 잡혀야 되지만 사라진 개체 모두 신호가 잡히지 않는 것으로 보아 포식자에 의한 영향이라기보다는 포획에 의한 영향이 더욱 클 것으로 판단된다. 실제로 외국에서는 신호가 인근 주민의 차고에서 나오는 경우도 있었던 점을 고려할 때 국내에서는 포획한 개체를 다른 곳으로 이동시켜 신호를 찾지 못하는 경우가 더 많을 것으로 보인다. 국내의 경우 이전부터 천렵이 당연시되고 있어 그러한 행동이 자연자원을 훼손한다는 생각을 갖지 않고 행해지고 있다. 열목어의 경우도 이와 같은 문제에서 벗어나기 힘들었을 것으로 판단된다. 실제로 플라잉낚시 동호회나 낚시협회 등에 소속되어 있는 사람들의 경우 열목어 보호에 앞장서고 있지만 지역주민들이나 취미 낚시인의 경우 무작위로 어류를 포획하기 때문에 열목어 개체군 보호에 문제가 될 수도 있다. 실제로 포획금지기간인 산란기에도 불법으로 낚시를 즐기는 사람들이 다수 보였으며 이와 같은 부분은 열목어 개체 보존을 위한 대책이 마련되어야 할 것으로 사료된다.

적 요

한반도 남방한계에 분포하는 열목어의 월동기 이동 경향과 월동지역의 특징 파악 및 산란기 이동을 평가하기 위하여 낙동강 상류지역에 서식하는 8마리의 열목어에 라디오 발신기(radio tag)를 삽입하여 2007년 12월부터 2008년 5월까지 추적 조사하였다. 월동기 동안 라디오 발신기(radio tag)를 부착한 열목어는 이동을 하더라도

인접한 소와 소 사이를 오가는 정도였으며, 하루에 약 8.6 m를 이동한 것으로 나타났다. 2월 말부터 수온이 약간씩 상승하기 시작했지만 각 개체가 눈에 띄는 이동을 보이지 않았다. 라디오 발신기(radio tag)를 부착한 열목어의 월동지역은 주로 여름 이후에 형성되어 있는 소로 약 1 m 정도 깊이에 수표면의 유속은 다소 빠르지만 심층부의 유속은 빠르지 않은 형태를 띠었고, 큰 암반과 인접하고 있는 지역으로 하상 구조는 모래가 50% 정도로 가장 많은 비율을 차지하였고 자갈 등이 골고루 분포하고 있었다. 산란시기에는 열목어 활동성도 높아 하루에 약 96.2 m를 이동한 것으로 나타났다. 상류로 이동한 개체는 BL4와 BL6으로 BL4는 24일간 총 4.65 km에 이르는 거리를 이동한 것으로 나타났으며 BL6은 2.23 km를 이동하였다. BL5와 BL7은 각각 3.74 km와 2.81 km 하류로 이동하였고 BL8은 하루만에 109 m 하류로 이동한 후 신호가 사라졌다. 열목어의 상류로의 이동은 수위와 유량 증가 이후 나타났으며 이 시기는 기온의 증가로 인하여 대다수의 눈이 녹으면서 이 시기까지 거의 단절되어 있던 백천계곡과 낙동강이 연결되는 시기와 거의 일치한다. 하류로 이동한 개체들 대부분은 하류지역의 넓은 소로 이동하여 여름철 성장기를 보내는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 2007년도 공주대학교 학술연구지원사업연구비(신임교수정착연구비)와 수생태계 내 생물서식처 복원기술 개발 사업의 지원으로 수행되었으며, 본 연구를 위해 협조해주신 봉화군청 담당자분들께 감사드립니다.

인 용 문 헌

- 김익수, 박종영. 2002. 한국의 민물고기. 교학사, 서울.
- 변화근, 조규승, 최재식, 박정호, 최준길, 손영목, 전상린. 1995. 열목어 (*Brachymystax lenok tsinlingensis*)의 먹이선택 습성. 한국육수학회지 **28(3)**: 279-287.
- 정문기. 1977. 한국어도보. 일지사, 서울.
- 최기철, 전상린, 김익수. 1984. 한국산 담수어류 분포도. 한국담수생물학연구소.
- 최기철, 전상린, 김익수, 손영목. 1990. 원색한국담수어도감. 향문사, 서울.
- 천연기념물센터. 2004. 천연기념물 열목어 서식지와 천연기념물 어류의 서식실태와 보존방안 연구보고서. 한국전파진흥협회. 2005. 대한민국 주파수 분배표.
- Banks, J.W. 1969. A review of the literature on the upstream migration of adult salmonids. *Journal of Fish Biology* **1**: 85-136.
- Baras, E. 1991. A bibliography on underwater telemetry, 1956-1990. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences, 1819, 55pp.
- Esteve, M. and D.A. McLennan. 2008. Spawning Behavior of Lenok, *Brachymystax lenok* (Salmoniformes) from the Uur River, Northern Mongolia. *Journal of Ichthyology* **48(11)**: 1031-1036.
- Hawkins, A.D. and G.W. Smith. 1986. Radio-tracking observations on Atlantic salmon ascending the Aberdeenshire Dee. Scottish Fisheries Research Report, 36.
- Jonsson, N. 1991. Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers. *Nordic Journal of Freshwater Research* **66**: 20-35.
- Kenward, R.E. 2001. A Manual for Wildlife Radio Tagging. Academic Press, London.
- Laughton, R. and G.W. Smith. 1992. The relationship between the date of river entry and the estimated spawning position of adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in two major Scottish east coast rivers, p. 423-433. *In: Wildlife Telemetry-Remote Monitoring and Tracking of Animals* (Priede I.G. and S.M. Swift, eds.). Ellis Horwood, Chichester.
- Li, S. 1984. Discussions on the geographical distribution of the Salmonid fishes in China. *Chinese Journal of Zoology* **1**: 34-37 (in Chinese).
- Lucas, M.C. and E. Baras. 2001. Migration of Freshwater Fishes. Blackwell Science, Oxford.
- Montgomery, W.L., S.D. McCormick, R.J. Naiman, F.G.J. Whoriskey and G.A. Black. 1983. Spring migratory synchrony of salmonid, catostomid and cyprinid fishes in Rivière à la Truite, Quebec. *Canadian Journal of Zoology* **61**: 2495-2502.
- Moyle, P.B. and J.J. Cech Jr. 2000. Fishes: An Introduction to Ichthyology, 4th ed. Prentice-Hall, Inc, Upper Saddle River, New Jersey.
- Myers, G.S. 1949. Usage of anadromous, catadromous and allied terms for migratory fishes. *Copeia* **1949**: 89-97.
- Northcote, T.G. 1978. Migratory strategies and production in freshwater fishes, p. 326-359. *In: Ecology of Freshwater Production* (Gerking, S.D., ed.). Blackwell, Oxford.
- Northcote, T.G. 1984. Mechanisms of fish migration in rivers, p. 317-355. *In: Mechanisms of Migration in Fishes* (McCleave, J.D., J.J. Dodson and W.H. Neill, eds.). Plenum, New York.
- Priede, I.G. and S.M. Swift. 1992. Wildlife Telemetry: Remote Monitoring and Tracking of Animals. Ellis Hor-

- wood, Chichester.
- Stasko, A.B. and D.G. Pincock. 1977. Review of underwater biotelemetry with emphasis on ultrasonic techniques. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **34**: 1261-1285.
- Trefethen, P.S. 1956. Sonic equipment for tracking individual fish. Special Scientific Report-Fisheries Number 179, U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, DC.
- Wang, S. and Y. Xie. 2004. China Species Red List, Vol. 1. Red List. Higher Education Press, Beijing.
- Winter, J. 1996. Advances in underwater biotelemetry, p. 555-590. *In: Fisheries Techniques*, 2nd ed. (Murphy, B.R. and D.W. Willis, eds.). American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Yue, P.Q. and Y.Y. Chen. 1998. China Red Data Book of Endangered Animals, Pisces. Science Press, Beijing.
- Zhao, Y. and C. Zhang. 2008. Threatened fishes of the world: *Brachymystax lenok tsinlingensis* Li, 1966 (Salmonidae). *Environmental Biology of Fish* (in press).

(Manuscript received 6 January 2009,
Revision accepted 2 February 2009)