

수중 음향 측정방식을 이용한 금강 중·하류의 눈볼개 이동성 평가

윤주덕 · 김정희¹ · 인동수 · 황은지¹ · 윤조희²
이영준² · 장광현³ · 장민호^{1,*}

(공주대학교 생물자원센터, ¹공주대학교 생물교육과,
²국립환경과학원 금강물환경연구소, ³경희대학교 환경학 및 환경공학과)

Evaluation of the Movement Pattern of *Squaliobarbus curriculus* Inhabiting in the Mid-lower Part of Geum River Using Acoustic Telemetry. Yoon, Ju-Duk, Jeong-Hui Kim¹, Dong-Su In, Eun-Ji Hwang¹, Johee Yoon², Young-Joon Lee², Kwang-Hyeon Chang³ and Min-Ho Jang^{1,*} (Biological Resource Center, Kongju National University, Gongju 314-701, Korea; ¹Department of Biology Education, Kongju National University, Gongju 314-701, Korea; ²Geum-River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Okcheon 373-804, Korea; ³Department of Environmental Science and Engineering, Kyung Hee University, Yongin 446-701, Korea)

Visual monitoring is hard to apply on fish because they are living in a water system. To overcome this problem, acoustic telemetry, which is effective for underwater monitoring, is often used for studying fish behaviors, such as movement distance, route and patterns. In this study, in order to monitor the movement pattern of *Squaliobarbus curriculus* (family Cyprinidae), we used acoustic telemetry and identified the home range and movement distances. A total of nine individuals were released at two different locations: one is at the estuary barrage (Sc1~3) and the other is at the lower part of Baekjae Weir (Sc4~9), located in Geum River. Approximately, a 70 km section from the estuary barrage was investigated. Fish, which were released at the estuary barrage, utilized up to 12.7 km upstream as home range from the release site. At the lower part of Baekjae Weir, most of the fish moved and stayed within a 7.2 km downstream area, except for Sc6, which moved 53.4 km (linear maximum distance from release site) downstream from the release site. Relatively small sized fish (Sc7~9) did not show any movement. Accumulated movement distance significantly correlated with the standard length of *S. curriculus* ($r_s=0.715$, $p=0.03$). Moreover, the standard length of moving fish was significantly larger than that of not moving fish (Mann-Whitney U test, $p=0.024$). Therefore, the movement distance of *S. curriculus* has been correlated with fish size; movement distance was increased with the standard fish length. Although the sample size of monitored fish was small, various meaningful data were collected by acoustic telemetry. Consequently, this technique could be a method available for effectively monitoring the behavior and ecology of native Korean and endemic species.

Key words : Cyprinidae, movement distance, home range, telemetry, monitoring

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

서 론

어류의 이동은 목적에 따라 크게 산란을 위한 이동, 포식활동을 위한 이동, 서식처를 찾기 위한 이동, 3가지로 구분할 수 있으며 (Lucas and Baras, 2001), 이런 이동은 목적과 대상 어류에 따라 규모와 형태가 다양하게 나타난다. 산란기의 연어나 송어와 같은 회유성 어류의 경우 많게는 수백 km의 이동 (e.g. DeCicco, 1992; Keefer *et al.*, 2006)을 하지만 다른 일부 어류들은 이동을 하지 않는 경우도 존재한다 (e.g. Rodriguez, 2002; Penczak, 2006). 또한 동일한 종이라고 해도 서식처의 환경에 따라 서식처를 활용하는 방식 및 규모가 달라진다 (e.g. Almeida *et al.*, 2012). 담수에서 현재까지 이러한 연구의 많은 부분은 경제적인 가치가 높은 연어과 (Salmonidae) 어류를 중심으로 시행되었지만, 최근에 와서는 다양한 생물들에 대한 자원으로써 가치가 높아지면서 비연어과 어류에 대해서도 많은 연구가 진행 중에 있다. 비연어과 어류들 전반에 대한 연구가 진행되고 있지만, 주로 연구되고 있는 대상은 국가별 종의 상황을 고려하여 고유종이나 멸종위기종에 중심이 맞춰지고 있다. 이와 같은 연구들은 대상 어류의 생태적 자료들인 서식처 범위 (home range), 산란장소, 이동시기와 같은 내용들의 파악이 가능하게 함으로써 종에 대한 기본적인 자료를 제공해 주고, 결과적으로 이런 자료들을 통하여 대상종을 고려한 맞춤형 보전 전략이나 보호구역 설정과 같은 내용들의 제시가 가능해 졌다.

수중 음향 측정방식 (acoustic telemetry)은 대형하천, 하구, 저수지 혹은 해수에서 어류의 이동을 모니터링하는데 주로 사용되는 원격측정방식 (telemetry) 중 하나이다. 어류는 수중에서 살아가기 때문에 육상동물에 비해 이동이나 행동 반경, 서식처 범위 등을 파악하는데 어려움이 있다. 과거부터 인간은 어류의 이동에 대한 궁금증이 있었지만 연구를 시행하는 데에는 많은 제약이 있었다. 하지만 기술의 발전과 더불어 다양한 종류의 표지방식 (tagging methods)이 개발되면서 어류의 이동을 모니터링하는데 사용되고 있다. 이들 표지방식 중 수중 음향 측정방식은 acoustic transducer에서 발산하는 sonar가 발신기에서 발신하는 신호를 감지하여 추적 대상 어류의 위치 및 이동 궤적을 파악하는 시스템으로 쉽게 이동을 파악할 수 있는 장점이 존재한다. 대상 연구지역에 다수의 수신기를 설치하여 이동 경로를 파악하는 방식으로 다양한 장소에 적용할 수 있으며 또한 수심이 깊은 장소에서도 유용하다. 하지만 수신기와 발신기가 고가이기 때문에 연구 진

행시 비용적인 측면의 고려가 필요하며 또한 발신기의 크기로 인하여 일부 소형어류나 치어에는 적용이 힘든 단점이 존재한다. 그럼에도 불구하고 본 방식은 국내의 하천에 서식하는 비연어과인 잉어과 (Cyprinidae) 어류를 모니터링하는데 적합하며 특히 4대강과 같이 수심이 깊어 다른 방식의 적용이 어려운 경우 더욱 적절하게 활용할 수 있다. 국내에서는 본 방식을 이용하여 해양에서 해양 어류를 대상으로 한 연구 (Shin *et al.*, 2004; Kang *et al.*, 2008)가 있지만 담수에서는 현재까지 적용된 바가 없다.

국내에 서식하는 담수어류 중 잉어과의 비율은 다른 과들에 비해 높게 나타나고 있으며 일부 종은 경제성 어종, 여가 (sport fishing)를 즐기는데 있어서 중요한 역할을 하고 있다. 하지만 이들 종들이 하천 내에서 어떠한 서식처 범위를 가지고 있으며, 어떠한 이동 패턴을 보이는지와 같은 생태적인 자료들은 제시된 바가 없다. 어류의 이동은 서식처의 환경변화나 교란 등과 관련이 나타나기 때문에 전반적인 어류의 관리에 있어서 중요한 부분이지만 어류의 분포나 군집 연구에 비해 자료가 미흡하다. 따라서 본 연구에서는 금강 중·하류에 서식하는 잉어과 어류인 눈불개 (*Squaliobarbus curriculus*)를 대상으로 하여 이들 어류의 서식처 범위와 이동 패턴을 수중 음향 측정 방식을 통해 파악하였으며 부가적으로 국내에 본 연구방식의 적용성에 대한 논의를 진행하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

전라북도 장수군 장수읍 수분리의 신무산 동쪽 계곡에서 발원하여 충청남도와 전라북도의 도계를 이루는 서천군과 군산시 사이의 하구연에서 서해로 유입하는 금강은 총 유로 연장 397 km, 유역면적 9912 km²에 이르고 수많은 지류들을 포함하는 남한에서는 낙동강과 한강에 이어 세 번째로 길고 큰 강이다. 대전광역시를 포함하여 다수의 시·군을 통과하며 이들 도시들의 상수원 및 농·공업용수로 이용되고 있다. 용수의 효율적 이용을 위해 2개의 다목적 댐이 건설되어 있으며, 하류에는 상수원 및 농·공업용수의 취수원에 염류 유입을 막기 위해 1990년에 하구둑이 완공되었다. 잉어과 어류의 이동 모니터링을 위한 본 연구에서는 금강 본류의 중·하류에 포함되는 지역인 금강 하구둑으로부터 백제보 상류까지 총 70 km 구간을 대상으로 하였다 (Fig. 1). 조사구간에는 금강 하구둑과 백제보를 제외하고 어류의 이동을 방해하는 시설물을 존재하지 않았으며, 조사 시 일부 구간에서는 4대강 공사를

위한 수변 공사와 준설이 진행 중에 있었다.

2. 수중 음향 측정방식의 적용

금강 중·하류에서 어류의 이동 및 서식처 범위 평가의 연구는 봄과 가을로 나누어 2011년 5월과 9월에 시행되었으며, 총 9개체의 눈불개 (*Squaliobarbus curriculus*)가 연구에 사용되었다. 잉어과 어류 중 금강에 대표적으로 서식하고 있는 눈불개는 6월에서 8월까지가 산란기로

알려져 있으며 (Kim and Park, 2002), 과거에는 금강뿐만 아니라 한강수계에도 넓게 분포하였지만 현재에는 출현 지역이 상당히 줄어든 종이다. 하지만 전반적인 생태적인 자료들이 충분하지 않은 종이며, 금강에서는 최근까지 안정적으로 분포하고 있었다. 문헌연구 결과에서도 눈불개는 과거부터 조사구간 전역에 분포하고 있는 것으로 나타나 (Table 1) 과거와 분포역의 변화는 확인되지 않았다.

총 2회의 표지를 시행하였으며, 5월 26일 시행된 표지와 방류에서는 눈불개 2개체, 9월 20~26일에는 나머지 개체들에 표지와 방류가 시행되었다. 표지를 위한 어류의 채집과 방류는 금강 하구둑 상부(G02)와 백제보 하류(G11), 총 2지점에서 진행 되었다 (Table 2). 방류지점은 담수어류들이 순수담수가 유지되고 있는 하구둑 상부에서부터 얼마나 상류까지 이동하는지, 또한 하천 종류에서 채집된 어류들이 어떠한 이동을 보이는지 파악하기 위해 선정한 지점들로 G02는 하구둑과 바로 인접하고 있었고, G11은 하구둑으로부터 57.5 km 상류에 위치하고 있었다. 연구에 이용된 어류는 투망 (mesh size 7 × 7 mm)을 이용하여 채집하였다.

채집된 어류는 분포와 이동 파악을 위하여 Garmin사의 GPS를 이용해 위도, 경도, 고도를 기록하여 기본적인 자료를 축적하였다. 본 연구에 사용된 발신기 (Coded transmitter, 69 kHz)는 두 종류로 캐나다 Vemco사 제품 (V7,

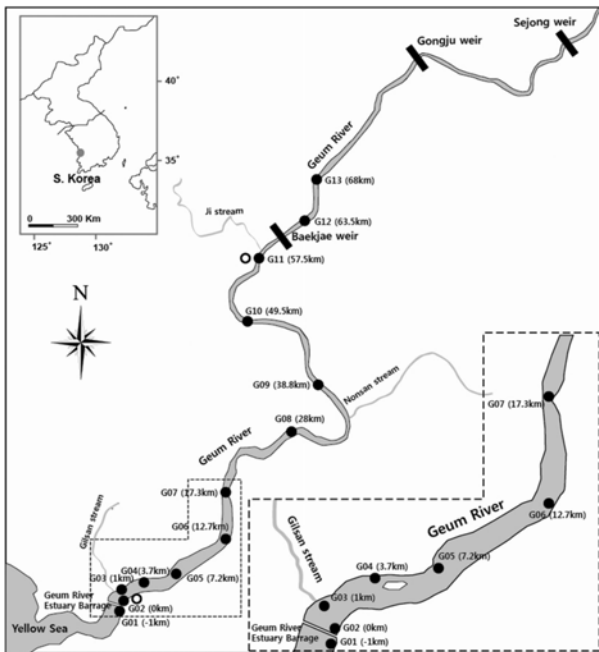


Fig. 1. Map of study site. Solid and open circles indicate location of receivers (VR2W) and release sites, respectively. The value in parenthesis is the river kilometer from the estuary barrage.

Table 1. Occurrence record of *S. curriculus* from literature studies (RK, river kilometer from estuary barrage).

| RK (km) | Baekjae weir (59.5) | | | | |
|-------------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 32.6 | 34.6 | 50.5 | 58.1 | 62.3 |
| Song (1981) | ████████████████████ | | | | |
| An <i>et al.</i> (1992) | ████████ | ████████ | ████████ | ████████ | ████████ |

Table 2. Basic information (tagging and release date, and release site) of tag application on *S. curriculus* for movement monitoring.

| ID | Total length (mm) | Standard length (mm) | Body weight (g) | Monitoring periods | | Release site | Last location | Accumulated movement distance (km) | Home range (km) | Detection | |
|-----|-------------------|----------------------|-----------------|--------------------|----------------|--------------|---------------|------------------------------------|-----------------|-----------|-----------|
| | | | | Release date | Last detection | | | | | Daytime | Nighttime |
| Sc1 | 350 | 292 | 265.5 | 2011.5.26 | 2011.9.26 | G02 | G05 | 52.8 | 12.7 | 124 | 372 |
| Sc2 | 370 | 322 | 393.2 | 2011.5.26 | 2011.11.8 | G02 | G02 | 33.6 | 7.2 | 220 | 798 |
| Sc3 | 389 | 320 | 376.2 | 2011.9.20 | 2011.9.22 | G02 | G05 | 7.2 | 7.2 | 0 | 3 |
| Sc4 | 344 | 292 | 314.5 | 2011.9.23 | 2012.3.8 | G11 | G11 | 15.2 | 7.6 | 1916 | 1465 |
| Sc5 | 345 | 288 | 291.1 | 2011.9.23 | 2012.3.2 | G11 | G10 | 7.6 | 7.6 | 6730 | 12497 |
| Sc6 | 372 | 315 | 372.8 | 2011.9.24 | 2011.12.6 | G11 | G07 | 66.9 | 53.4 | 381 | 561 |
| Sc7 | 323 | 261 | 227.2 | 2011.9.25 | 2011.10.3 | G11 | G11 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Sc8 | 249 | 206 | 109.1 | 2011.9.25 | 2011.9.28 | G11 | G11 | 0 | 0 | 108 | 619 |
| Sc9 | 185 | 155 | 43.9 | 2011.9.25 | 2012.3.26 | G11 | G11 | 0 | 0 | 101 | 235 |

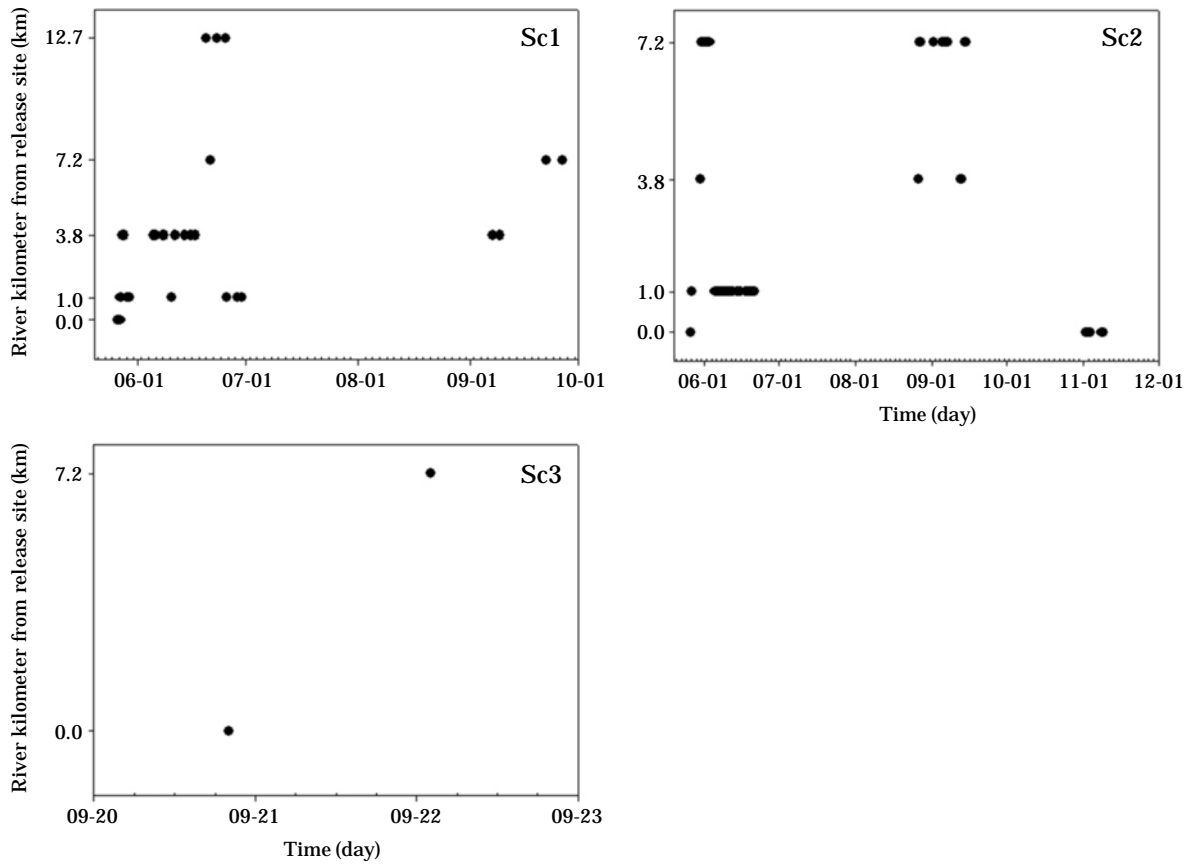


Fig. 2. Movement time (days) and route of three *S. curriculus* individuals (Sc1~3), which were released at G02 (upper part of the estuary barrage). X-axis and Y-axis indicate time and receiver distance from the release site, respectively.

Vemco, Canada)과 노르웨이 Thelma사의 제품(MP-9, Thelma Biotel AS, Norway) 이었다. 제조사는 다르지만 두 제품은 크기와 송출방식이 동일하여 본 연구에서 사용한 수신기에 안정적으로 신호가 감지되었으며, 신호는 약 60초에 한번씩 송출되었으며 발신기의 수명은 최대 3~4개월 정도였다. 발신기에서 송출되는 음파를 수신하기 위해서 VR2W 수신기(Vemco, Canada)를 이용하였다. 발신기의 삽입은 외과적인 수술을 통하여 어류에 이식하며 채집된 어류는 현장에서 Ethyl 3-aminobenzoate methane-sulfonate salt (Sigma-Aldrich, Germany)를 이용하여 마취시킨 후 전장(Total length, TL), 체장(Standard length, SL), 체중(Total weight, TW)을 차례로 측정하였다. 모든 측정을 마친 개체는 외과적 수술과정을 통하여 tag을 삽입하였으며 tag의 삽입은 어류의 가슴지느러미와 배지느러미 사이의 복강이 위치하고 있는 부분을 2cm 가량 절개하여 이루어졌다. 발신기 삽입 후 봉합사를 이용하여 봉합을 실시하였으며 수술부위의 감염을 막기 위하여 체중에 1%에 해당하는 양의 항생제(Kanamycin sulfate,

Sigma-Aldrich, Germany)를 수술 부위에 투여하였다. 최종적으로 생체용 접합제(Vetbond, 3M)를 이용하여 수술 부위를 접합하여 복강내 물의 투입을 방지하였다. 수술이 끝난 이후 어류가 마취에서 회복될 수 있도록 충분한 산소가 공급되는 수조에서 안정을 취하도록 한 후 채집된 지점과 동일한 지점에 방류하였다.

3. 모니터링 및 자료 분석

발신기가 부착된 어류의 이동을 모니터링 하기 위하여 총 13개의 수신기(VR2W, Vemco, Canada)를 조사구간 내에 설치하였다. 설치된 수신기는 발신기가 삽입된 어류가 수신기 주위를 통과할 때 자동으로 신호가 기록되며 이후 본 자료를 토대로 어류의 이동 경로를 파악하였다. 수신기 사이의 거리는 가장 하류 쪽에 설치되어 있는 수신기에서부터 G07지점까지는 약 5 km 이내였고 이후 지점들에서는 약 10 km의 거리를 두고 수신기를 위치시켰다. 또한 어류의 백제보 통과 여부를 확인하기 위하여 백

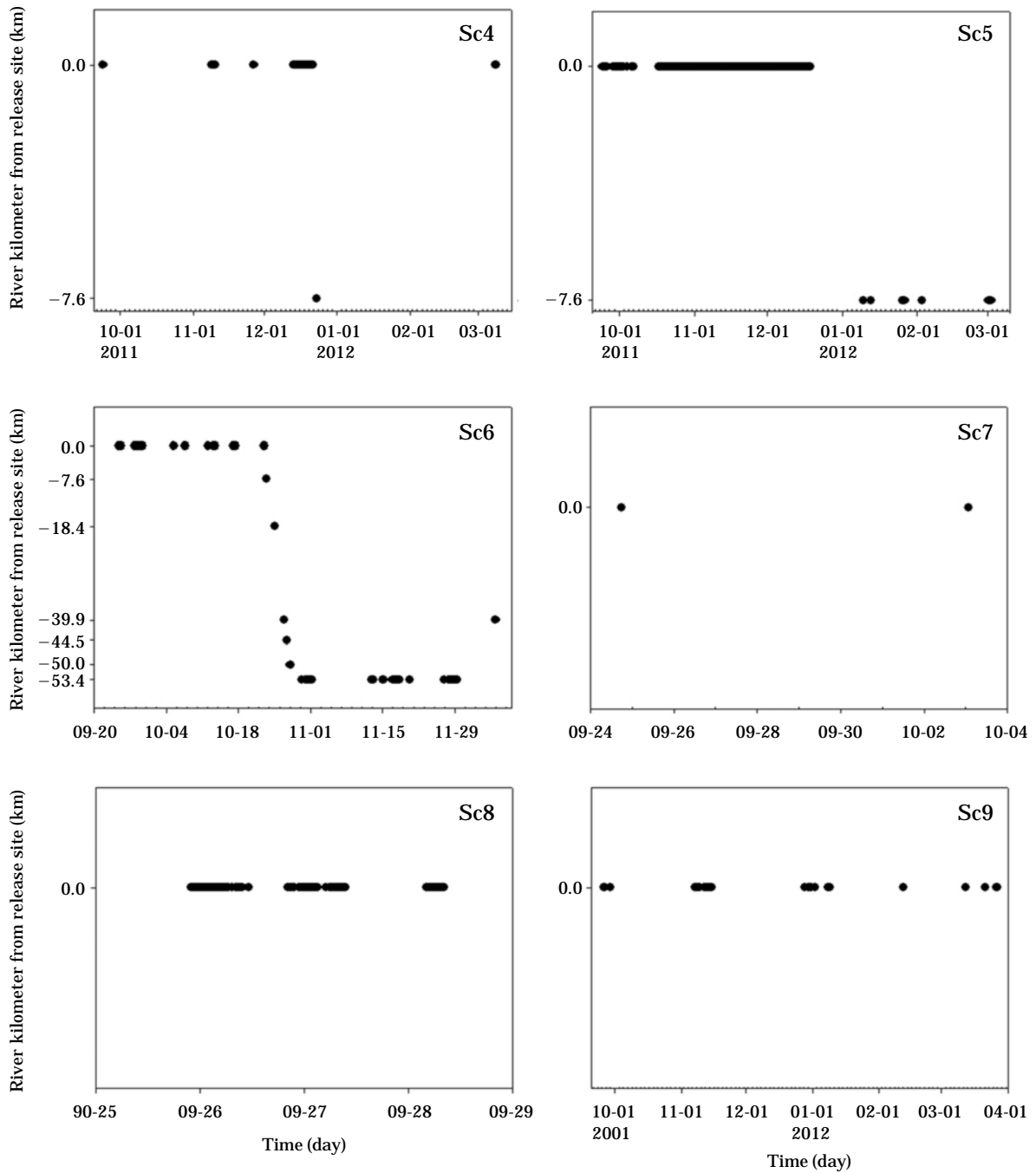


Fig. 3. Movement time (days) and route of six *S. curriculus* individuals (Sc4~9), which were released at G11 (lower part of Baekjae Weir). X-axis and Y-axis indicate time and receiver distance from the release site, respectively.

제보 상류지점에도 2개의 수신기를 설치하였다. 본 연구를 진행하기 전 금강에서 신호의 감지범위를 파악하기 위한 테스트를 진행하였으며, 따라서 밝혀진 수신기의 신호 감지범위는 반경 약 200m로 하천의 폭이 넓은 하구둑 인근 지역을 제외하고 금강의 수로폭을 전반적으로 포함

할 수 있었다. 테스트는 수변에 수신기를 고정시킨 이후 선박을 이용하여 일정거리를 확보한 이후 신호의 감지여부를 결정하는 방식으로 진행되었다. 수신기는 설치 이후 자료의 다운로드와 유실방지를 위해 약 한 달 간격으로 정기적으로 확인되었다.

분석에 사용된 서식처 범위는 각 조사대상 개체들이 모니터링 기간 동안 이동한 것으로 나타난 하천 상·하류 전체의 구간을 의미하며, 이후 개체별 결과들은 종합적으로 정리하였다.

표지한 개체들의 크기와 이동거리와의 상관성을 파악하기 위하여 눈불개의 체장(SL)과 총 이동거리(Accumulated movement distance)를 Spearman rank correlation을 통해 분석하였다. 뿐만 아니라 이동한 개체와 이동하지 않은 개체의 크기 차이분석을 위해 Mann-Whitney U test를 시행하였다. 본 연구에서 실시된 모든 분석은 SPSS 18.0 (SPSS Inc., USA)을 이용하여 시행되었다.

결 과

금강 하구둑 상부(G02)에서 방류한 개체들 중 5월 방류한 Sc1과 Sc2개체는 방류 이후 활발한 이동을 보였으며, Sc1은 방류지점에서 12.7 km 상류에 위치한 G06 지점까지 이동하였으며, Sc2개체는 7.2 km 상류지점인 G05까지 이동한 것으로 나타났다(Figs. 1 & 2). 두 개체가 신호가 사라지기까지 이동한 거리는 Sc1은 52.8 km, Sc2는 33.6 km였으며, 주간보다는 야간에 주로 수신기에 감지된 것으로 확인되었다. 동일한 지점에서 9월 방류를 시행한 Sc3은 총 이동거리는 7.2 km로 다른 개체들과 비교시 상대적으로 이동거리는 적게 나타났지만 방류지점으로부터 이격되어 있는 직선거리(서식처 범위)는 7.2 km로 큰 차이는 없었다. 본 개체의 경우 방류 이후 3일이 지난 시점에서 감지된 이후 단기간에 신호가 사라진 것으로 확인되었다(Table 2).

백제보 하류(G11) 지점에서 9월 23~25일 동안 방류한 개체의 이동은 Fig. 3과 같이 확인되었다. Sc4, Sc5, Sc6 개체들은 방류 이후 일정기간을 방류지점 인근에서 머무르다 하류에 위치하고 있는 지점으로 이동하였으며, 이외의 Sc7, Sc8, Sc9, 3개체는 신호가 방류지점에서만 감지되어 다른 지점에서는 확인되지 않았다. Sc4의 총 이동거리는 15.2 km였으며, 방류지점으로부터는 직선으로 7.2 km 이격된 하류로 이동 후 다시 방류지점으로 돌아왔다. 반면 Sc5는 동일한 지점까지 하류로 이동 후, 돌아오지 않았다. 가장 많은 거리를 이동한 Sc6은 방류지점에서 직선거리로 53.4 km 하류에 위치하고 있는 하구둑 인근의 G04지점까지 하류로 이동하였으며, 다시 상류로 이동하여 최종적으로는 G05지점에서 감지되었으며 최대 이동 거리는 66.9 km였다. 나머지 개체들은 다른 수신기가 있는 위치에서 큰 이동을 보이지 않았다(Table 2).

눈불개의 총 이동거리는 개체의 체장의 크기와 관련이 있는 것으로 나타나($r_s=0.715$, $p=0.03$), 어류의 체장이 커질수록 총 이동거리가 늘어나는 경향이 확인되었다. 뿐만 아니라 이동을 보인 개체와 이동을 보이지 않은 개체들에 대한 비교에서는 이동을 보인 개체들의 체장이 통계적으로 유의하게 큰 것으로 확인되었다(Mann-Whitney U test, $p=0.024$) (Table 2).

고 찰

서식처 범위(home range)는 육상동물에 가장 먼저 적용(Burt, 1943)된 이후 다른 생물종으로 확대되었고 일반적으로는 생물이 서식처로서 활용하는 범위를 의미한다. 어류의 경우 이동이 수체로 제한되기 때문에 주로 하천을 따라 이용하는 종적인(longitudinal) 범위를 서식처 범위로 이용하며, 본 연구에서도 이와 마찬가지로 눈불개 조사구역 내에서 활용하는 범위를 의미하였다. 어류의 이동 범위는 개체의 크기와 서식처의 크기와 관련이 있으며(Keefer *et al.*, 2009; Woolnough *et al.*, 2009), 본 연구에서는 개체의 크기와 서식처 범위가 연관이 있는 것으로 나타났다. Sc6개체는 50 km 이상의 넓은 서식처 범위를 보였고, 이외에 이동을 보인 개체들은 7.6 km에서 12.7 km에 이르는 서식처 범위를 보였다. 반면 이동을 보이지 않은 개체들(Sc7, 8, 9)은 전장의 크기가 다른 개체들에 비해 작은 것으로 확인되었다(Table 2). 뿐만 아니라 총 이동거리와 체장의 크기가 상관성을 보이면서, 크기와 이동에 대한 관련성을 뒷받침하였다.

어도는 하천 내 구조물로 인해 단절(longitudinal fragmentation)된 수생태계의 연결성을 확보하는데 중요한 역할을 한다(Calles and Greenberg, 2005; Prato *et al.*, 2011). 금강 본류에 설치되는 3개의 보에는 아이스하버식 어도와 자연형 어도가 설치되어 있으며 이는 비연어과 어류에게도 적용이 가능한 어도 형식이다(Clay, 1995). 모니터링 결과 백제보 상류로 이동한 개체는 나타나지 않았는데 이는 보 공사와 관련이 있을 것으로 판단되었다. 백제보 공사가 시작된 이후 몰막이와 보 설치가 진행되면서 어류의 이동이 불가능해졌고 뿐만 아니라 어도의 설치공사가 연구가 최종적으로 마무리되는 시점까지 완공이 되지 않아 보 하류에서 상류로 어류가 이동할 수 있는 방안이 없었다. 따라서 이러한 원인으로 인하여 본 연구에서 보 상류로 이동하는 개체를 확인하는 데에 어려움이 있었을 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 모니터링 개체수가 9개체로 많지 않아 이러한 문제도 충분한

결과를 얻는데 제약이 되었을 것으로 판단되었다. 따라서 향후 상류로의 이동에 대한 연구는 보 설치기 마무리된 시점에서 추가적으로 이루어져야 할 것으로 사료되며 어도 또한 국내의 실정에 맞는 형태로 제작할 필요성이 있을 것으로 사료되었다.

보 상류로의 이동도 보이지 않았지만 하구둑 하류로 이동한 눈불개 개체도 확인되지 않았다. 유사한 시기에 시행하였던 기수성 어종인 가승어가 금강 하구둑 어도를 통하여 지속적으로 해수부와 담수부를 왕래한 것으로 확인(Yoon unpublished data)된 반면 눈불개는 한 개체도 해수부로 이동하지 않은 것으로 보아 염분농도에 대한 내성이 상당히 떨어질 것으로 판단되었다. 따라서 눈불개는 완전한 담수부에서만 서식하고 있을 것으로 사료되었다.

수중 음향 측정방식을 이용하여 어류의 이동을 모니터링하는 방식은 국내 담수환경에서 유용하게 사용 할 수 있을 것으로 파악되었다. 다만 어체 내에 삽입되는 발신기가 고가이며 적용 가능한 어류의 크기가 제한되기 때문에 이러한 문제를 고려하여 연구를 진행할 필요성이 있으며, 수신기를 설치하는데 있어서도 해결할 부분들이 존재하였다. 특히 국내 하천은 특성상 대부분 하상구조가 모래로 이루어져 있고, 강우 시 수량의 변동이 커서 수신기가 유실될 확률이 높기 때문에 국내의 실정에 맞는 형태로 수신기를 설치할 필요성이 있었다. 본 연구방식은 굳이 재포획을 하지 않더라도 어류의 이동에 대한 전반적인 자료를 효율적으로 모니터링 할 수 있는 방식으로 단순한 포획-재포획 방식에 비해 훨씬 정확한 정보를 얻을 수 있는 방식이다. 이와 같은 일부 문제가 존재하지만 전반적으로 국내의 다양한 어류에 안정적으로 적용이 가능하기 때문에 향후 어류의 이동을 모니터링을 하는데 있어서 활용가치가 높을 것으로 판단되었다.

어류를 연구하는데 있어서 이동과 같은 측면은 실제로 관찰이 된 부분도 있지만 대다수의 경우 외국의 문헌이나 경험적으로 얻어지는 결과가 주를 이루고 있다. 하지만 어류의 이동 결과는 동일종이라 할지라도 개체별, 서식처, 환경에 따라 다르게 나타날 수 있다. 대표적인 예로 국내에도 서식하고 있는 잉어는 서식처 범위(home range)와 관련된 연구들의 결과에서 일부 연구의 경우 좁은 서식처 범위와 일정지역에 정착하여 서식하고 있는 것으로 나타났지만(Reynolds, 1983; Schwartz, 1987; Crook, 2004), 반대로 잉어가 100 km 이상의 상당한 거리를 이동한다는 연구 결과(Koehn and Nicol, 1998)도 있다. 따라서 문헌적인 자료도 중요하지만 실제로 대상종의 정확한 정보를 얻기 위해서는 국내의 하천에 서식하는 대상종을 직접 모니터링 할 필요가 있다. 개발이나 하천 내 공사 진행 시

서식하는 종에 대한 정확한 정보가 없다면 종의 측면에서는 상당한 영향을 받을 수 있기 때문에 이러한 이동과 관련된 연구는 국내의 어류를 보전하는데 있어서도 매우 중요한 정보가 될 수 있다. 따라서 이와 같은 정보를 정량적으로 측정하는 데에는 고전적인 채집방식과 함께 원격측정방식(telemetry method)을 이용한 연구가 함께 진행될 필요가 있을 것으로 사료된다.

적 요

어류는 수체 내에 서식하기 때문에 시각적으로 행동이나 이동을 연구하는 데에는 어려움이 있다. 원격측정방식 중 하나인 수중음향측정 방식(acoustic telemetry)은 수생 생물 특히, 어류에 효과적으로 적용되는 방식으로 이동경로 및 거리, 패턴의 분석에 효과적이다. 본 연구에서는 국내에 서식하는 잉어과 어류인 눈불개를 대상으로 하여 수중음향측정방식을 적용, 서식처범위(home range)와 이동패턴에 대한 모니터링을 시행하였다. 연구는 금강 하구둑부터 백제보까지의 약 70 km 구간을 대상으로 총 9 개체의 눈불개를 하구둑(Sc1-3)과 백제보(Sc4-9)에서 각각 방류하여 모니터링을 진행하였다. 하구둑에서 방류한 개체들은 방류지점으로부터 12.7 km 상류지점까지를 서식처 범위로 하여 이동하는 패턴을 나타냈고, 백제보에서 방류한 개체들은 가장 하류까지 이동한 Sc6(방류지점에서 직선거리로 53.4 km 하류까지 이동)을 제외하고 대부분 방류지점에서 7.2 km 하류 지역을 서식처 범위로 이용하고 있었다. 상대적으로 크기가 작은 Sc7, 8, 9 개체는 큰 이동을 보이지 않았다. 눈불개의 총 이동거리는 개체의 체장의 크기와 관련이 있는 것으로 나타났고($r_s=0.715$, $p=0.03$), 또한 이동 개체와 이동하지 않은 개체 비교 시 이동 개체들의 체장이 통계적으로 유의하게 큰 것으로 확인되었다(Mann-Whitney U test, $p=0.024$). 따라서 눈불개의 이동 범위는 크기와 관련이 있고, 체장이 커질수록 총 이동거리가 늘어나는 것으로 나타났다. 비록 모니터링 개체수가 많지 않았지만 대상종의 이동과 관련된 의미 있는 자료들의 수집이 가능하였으며, 연구방식이 전반적으로 국내의 다양한 어류에 안정적으로 적용이 가능하기 때문에 향후 어류의 이동을 모니터링을 하는데 있어서 활용가치가 높을 것으로 판단되었다.

사 사

본 연구는 2011년도 금강수계 환경기초조사사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

- 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.
- An, K.G., Y.P. Hong, J.K. Kim and S.S. Choi. 1992. Studies on zonation and community analysis of freshwater fish in Kum-river. *Korean Journal of Limnology* **25**: 99-112.
- Burt, W.H. 1943. Territoriality and home range concepts as applied to mammals. *Journal of Mammalogy* **24**: 346-352.
- Calles, E.O. and L.A. Greenberg. 2005. Evaluation of nature-like fishways for re-establishing connectivity in fragmented salmonid populations in the River Emån. *River Research and Application* **21**: 951-960.
- Clay, H.C. 1995. Design of Fishways and Other Fish Facilities. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Crook, D.A. 2004. Is the home range concept compatible with the movements of two species of lowland river fish? *Journal of Animal Ecology* **73**: 353-366.
- DeCicco, A.L. 1992. Long-distance movements of anadromous Dolly Varden between Alaska and the U.S.S.R. *Arctic* **45**: 120-123.
- Kang, K.M., H.K. Shin, D.H. Kang and M.S. Kim. 2008. Comparison of behavior characteristics between wild and cultured black seabream *Acanthopagrus schlegelii* using acoustic telemetry. *The Korean Journal of Fisheries Technology* **44**: 141-147.
- Keefer, M.L., C.A. Peery and C.C. Caudill. 2006. Long-distance downstream movements by homing adult chinook salmon. *Journal of Fish Biology* **68**: 944-950.
- Keefer, M.L., M.L. Moser, C.T. Boggs, W.R. Daigle and C.A. Peery. 2009. Effects of body size and river environment on the upstream migration of adult pacific lampreys. *North American Journal of Fisheries Management* **29**: 1214-1224.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. Freshwater fish of Korea. Kyo-Hak Publishing, Seoul.
- Koehn, J.D. and S. Nicol. 1998. Habitat and movement requirements of fish. Proceedings of the 1996 Riverine Environment Research Forum (eds R.J. Banens and R. Lehane), pp. 1-6. Murray-Darling Basin Commission, Canberra.
- Lucas, M.C. and E. Baras. 2001. Migration of Freshwater Fishes. Blackwell Science, Oxford.
- Penczak, T. 2006. Restricted-movement paradigm: fish displacements in a small lowland streamlet. *Polish Journal of Ecology* **54**: 145-149.
- Prato, E.P., C. Comoglio and O. Calles. 2011. A simple management tool for planning the restoration of river longitudinal connectivity at watershed level: priority indices for fish passes. *Journal of Applied Ichthyology* **27**(Suppl. 3): 73-79.
- Reynolds, L.F. 1983. Migration patterns of five fish species in the Murray-Darling river system. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* **34**: 857-871.
- Rodriguez, M.A. 2002. Restricted movement in stream fish: the paradigm is incomplete, not lost. *Ecology* **83**: 1-13.
- Schwartz, F.J. 1987. Homing behavior of tagged and displaced carp, *Cyprinus carpio*, in Pymatuning lake, Pennsylvania/Ohio. *Ohio Journal of Science* **87**: 15-22.
- Shin, H.O., J.W. Tae and K.M. Kang. 2004. Acoustic telemetry tracking of the response behavior of red seabream (*Chrysophrys major*) to artificial reefs. *Journal of the Korean Fisheries Society* **37**: 433-439.
- Song, Y.W. 1981. A study on the classification of fish communities in the Geum river. Master thesis. Chungnam National University.
- Woolnough, D.A., J.A. Downing and T.J. Newton. 2009. Fish movement and habitat use depends on water body size and shape. *Ecology of Freshwater Fish* **18**: 83-91.

(Manuscript received 21 July 2012,
Revised 11 September 2012
Revision accepted 23 October 2012)