

## 낙동강 중·하류 구간에서 수중 음향추정방식을 이용한 강준치의 이동성 평가

윤주덕 · 김정희<sup>1</sup> · 인동수 · 유재정<sup>2</sup> · 허문석<sup>2</sup> · 장광현<sup>3</sup> · 장민호<sup>1,\*</sup>

(공주대학교 생물자원센터, <sup>1</sup>공주대학교 생물교육과,  
<sup>2</sup>국립환경과학원 낙동강물환경연구소, <sup>3</sup>경희대학교 환경학 및 환경공학과)

Evaluation of Movement Pattern of *Erythroculter erythropterus* Inhabit in the Mid-lower Part of Nakdong River Using Acoustic Telemetry. Yoon, Ju-Duk, Jeong-Hui Kim<sup>1</sup>, Dong-Su In, Jae Jeong Yu<sup>2</sup>, Moonsuk Hur<sup>2</sup>, Kwang-Hyeon Chang<sup>3</sup> and Min-Ho Jang<sup>1,\*</sup> (Biological Resource Center, Kongju National University, Gongju 314-701, Korea; <sup>1</sup>Department of Biology Education, Kongju National University, Gongju 314-701, Korea; <sup>2</sup>Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Goryeong 717-873, Korea; <sup>3</sup>Department of Environmental Science and Engineering, Kyung Hee University, Yongin 446-701, Korea)

Acoustic telemetry is used to obtain a relatively continuous record of fish movement. This method has several advantages for studying migrating fish populations that are moving from large rivers. The Nakdong River is the longest river in South Korea and the main stream has faced a change, which consists of the installation of the large weirs. In this study, we applied acoustic telemetry to monitor the movement pattern of *Erythroculter erythropterus* (family Cyprinidae) and identified home range and movement distance in the Nakdong River. A total of fourteen individuals were released at three different locations and around 80 km section from the estuary barrage was investigated. Eight individuals were tagged and released at estuary barrage (N02) utilized up to 15.9 km (home range) upstream from the release site as home range. Four individuals were tagged and released at Samrangjin (N07), most fish moved and stayed within 9.7 km (home range) downstream area, except E12, which did not show any movement. Two individuals were tagged and released at Changnyeong-Haman weir (N10), and all individuals migrated downstream from the release site. Especially, E14 recorded the longest accumulated detected distance, 36.7 km downstream during 32 days after release. There was no correlation identified between movement (accumulated detected distance and home range) and standard length (Spearman rank correlation,  $p > 0.05$ ). Although, this technique could be an available method to monitor behavior and ecology of freshwater fish effectively, increment of number of receivers and tags are required for more detailed results of fish migration.

**Key words :** *Erythroculter erythropterus*, accumulated detected distance, home range, telemetry, monitoring

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

## 서 론

담수 생태계는 세계적으로 중요한 수자원으로 과거부터 인간의 활용 목적에 따라 다양한 방법으로 관리되어 왔다. 따라서 하천은 일반적으로 흐름이 조절되는 강 생태계로의 물리적 변형 사례가 증가되어왔으며, 이에 따라 부영양화와 같은 수질 및 생태계의 문제점이 지속적으로 대두되고 있다 (Large and Petts, 1992). 물리적인 하천 교란인 댐이나 보의 건설은 하천의 형태를 변형시킴으로써 하천을 종적 혹은 횡적으로 구분하며, 하천의 연결성을 감소시켜 수생 생물의 서식에 다양한 문제를 유발한다.

담수생태계 내에는 어류나 수서곤충, 수생식물과 다양한 물리화학적 변수들이 서로 공존하고 있다 (Allan, 1995). 특히 수서생태계 내에서 높은 영양 단계 (trophic level)를 차지하고 있는 담수어류는 (Moyle and Cech, 2000) 환경변수와 서식처 특성에 의해 그 분포가 영향을 많이 받고 있으며 (Matthews and Robison, 1988; Matthews *et al.*, 1992; Kouamélan *et al.*, 2003; Buisson *et al.*, 2007), 교란으로 인하여 하천의 연결성이 낮아지면 심각한 경우 한 지역에서 절멸에 이를 수도 있다. 이러한 현상은 바다와 하천을 회유하는 회유성어류뿐만 아니라 하천 내에서 국지 회유하는 담수어류에게도 심각한 위협 요소가 된다.

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 (DeCicco, 1992; Keefer *et al.*, 2006)을 하지만 다른 일부 어류들은 이동을 하지 않거나 이동범위가 매우 제한적인 경우도 존재한다 (Rodriguez, 2002; Penczak, 2006). 또한 동일한 종이라고 해도 서식처의 환경에 따라 서식처를 활용하는 방식 및 규모가 달라진다 (Almeida *et al.*, 2012). 이전까지는 어류가 수체 내에서 이동하기 때문에 이와 같은 문제를 정량적으로 파악하기가 어려웠지만 원격측정 방식이 사용되면서 어류 이동과 관련된 정량적인 평가들의 진행이 가능해졌다.

원격측정을 이용한 연구는 대상 어류의 생태적 자료들인 서식처 범위 (home range), 산란장소, 이동시기와 같은 내용들의 파악을 가능하게 함으로써 종에 대한 기본적인 자료를 제공해 주고, 결과적으로 이런 자료들을 통하여 대상종을 고려한 맞춤형 보전 전략이나 보호구역 설정과 같은 내용들의 제시가 가능해 지는 등 다양한 방면에 활용되고 있다.

원격측정 연구방식 중 수중 음향 측정방식 (acoustic telemetry)은 대형하천, 하구, 저수지 혹은 해수에서 어류의 이동을 모니터링하는데 주로 사용되는 방식으로 국내의 하천에 주로 서식하는 중·대형 어류의 이동을 연구하는데 유용하다. 특히 낙동강과 같이 수심이 깊어 다른 방식의 적용이 어려운 경우 적절하게 활용될 수 있다. 국내에서는 본 방식을 이용하여 담수에서 시행된 연구는 저수지 내 어류 이동 (Yoon *et al.*, 2012)뿐이지만 최근 금강과 낙동강 지역에서 일부 활발하게 적용되고 있다.

잉어과 (Cyprinidae) 어류는 국내 담수생태계에 높은 비율로 출현하고 있으며 경제, 문화적으로 중요한 역할을 한다. 그럼에도 불구하고 이들 종들에 대한 서식처 범위, 이동 패턴 등과 같은 생태적인 자료가 부족하다. 특히 어류의 이동은 서식처의 환경변화나 교란 등과 밀접한 관련이 있기 때문에 전반적인 어류의 관리에 있어서 중요하다. 따라서 본 연구에서는 낙동강 중류와 하류구간에 서식하는 잉어과 어류인 강준치 (*Erythroculter erythrop-terus*)를 대상으로 하여 이들 어류의 서식처 범위와 이동 패턴을 수중 음향 측정방식을 통해 파악하였다.

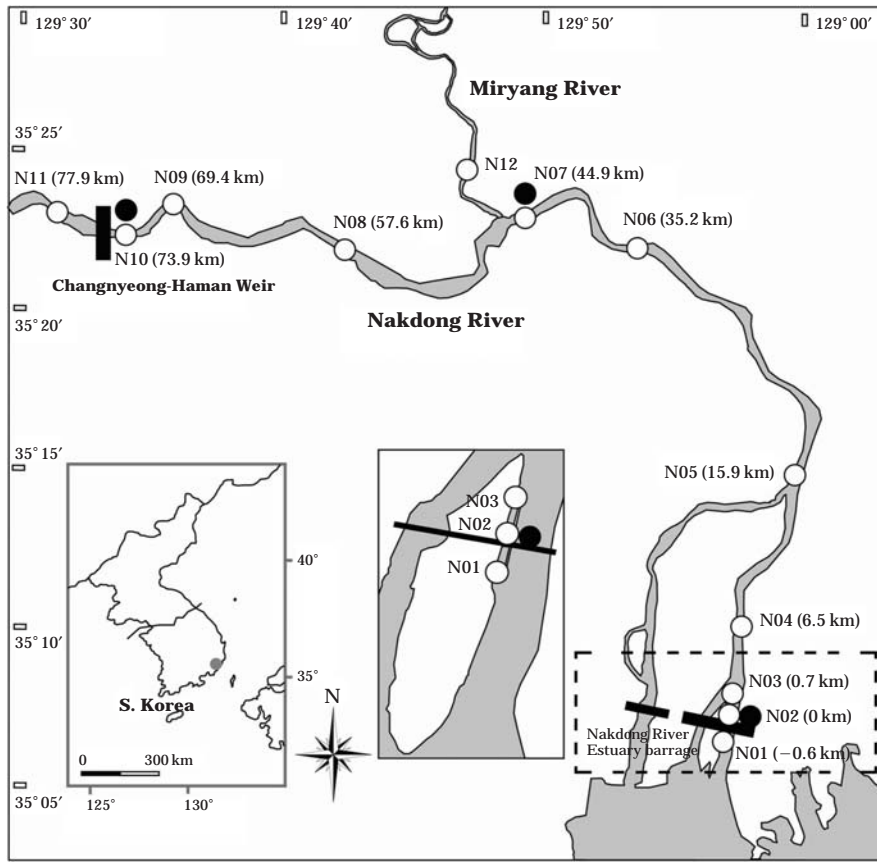
## 재료 및 방법

### 1. 조사지 개황

강원도 태백에서 발원하여 남해로 유입되는 낙동강은 총 유로 연장이 525 km, 유역면적이 23,860 km<sup>2</sup>이며 수많은 지류들을 포함하는 남한에서 가장 긴 강으로 부산광역시와 대구광역시를 포함하여 32개의 시, 군을 통과하며 이들 도시들의 상수원 및 농업 및 공업용수로 이용되고 있다. 용수의 효율적 이용을 위해 낙동강에는 4개의 다목적 댐이 건설되어 있으며, 하류에는 상수원 및 용수의 취수원에 염류 유입을 막기 위해 1987년에 하구둑이 완공되었다. 강준치의 이동 모니터링을 위한 본 연구에서는 낙동강 본류의 중·하류에 해당되는 지역인 낙동강 하구둑으로부터 창녕함안보 상류에 이르는 총 80 km 구간을 대상으로 하였다 (Fig. 1). 조사구간에는 낙동강 하구둑과 창녕함안보를 제외하고 어류의 이동을 방해하는 시설물은 존재하지 않았으며, 조사 시 일부 구간에서는 4대강 공사를 위한 수변 공사와 준설이 진행 중에 있었다.

### 2. 수중 음향 측정방식의 적용

낙동강 중류부터 하류구간의 어류의 이동 및 서식처 범위 평가의 연구는 2011년 5월과 6월, 9월과 10월에 시행하였으며, 총 14개체의 강준치를 연구에 사용하였다.



**Fig. 1.** Map of study site. Open and solid circle indicate location of receivers (VR2W) and release sites, respectively. The value in parenthesis is river kilometer from estuary barrage.

강준치는 잉어과의 대표적인 대형종으로 산란기는 5월에서 7월 사이로 알려져 있으며 (Kim and Park, 2002), 과거에는 낙동강에 분포하지 않았지만 1980년대 끄리와 함께 국내 타수계 (금강, 한강 등)에서 이입되어 낙동강에 널리 분포하고 있는 이입종 (translocated species)이다. 국내 토착종이라 그 동안 큰 관심은 없었지만 실제로 활동성과 포식성이 강하여, 실질적으로 외래종인 베스 (*Micropterus salmoides*)와 함께 낙동강 수생태계에 영향을 주는 것으로 예상되는 종이다. 현재에는 낙동강 전역에 널리 분포하고 있는 종이다. 본 종은 잉어과 어류 중 다른 종에 비해 상대적으로 크기가 큰 종으로 발신기를 체내에 삽입하는 본 연구방식을 적용하기에 충분한 복강의 크기를 가지고 있었다.

강준치의 이동을 모니터링하기 위한 표지는 총 4회 시행하였다. 5월 2일과 6월 3일, 그리고 6월 13일에는 각각 4개체씩 총 12개체, 9월 27일~10월 1일 사이에 2개체에 대한 표지와 방류를 시행하였다. 방류지점은 대상 어류인 강준치가 조사지역을 얼마나 이동하고, 어떠한 이동을 보

이는지 파악하기 위해 조사대상을 3지점으로 나누어 선정하였다. 표지를 위한 어류의 채집과 방류는 낙동강 하구둑 상부 (N02)와 전체 조사구간 중 중류에 해당하는 삼랑진 (N07, RK 44.9 km), 마지막으로 창녕함안보 하류 (N10, RK 73.9 km) 총 3지점에서 시행하였다 (Fig. 1). 연구에 이용된 어류는 투망 (mesh size 7×7 mm)과 삼중자망 (mesh size 40×40 mm, length 50 m)을 이용하여 채집하였다. 연구에 사용된 개체들은 포획된 어류 중 외형적으로 문제 없는 것이 확인되고 활동성이 높은 개체들만 선별하였으며, 기준에 미치지 못하는 개체들은 현장에서 모두 방류하였다. 연구에 사용된 개체들은 발신기의 안정적인 적용을 위하여 충분한 복강의 크기가 확보된 개체들만을 사용하였으며 따라서 대부분 체장의 범위가 (Standard length, SL) 300 mm 이상이 되는 개체들이었다 (Table 1).

채집된 어류는 분포와 이동 파악을 위하여 채집지점과 방류지점을 Garmin사의 GPS를 이용해 위도, 경도, 고도를 기록하여 기본적인 자료를 축적하였다. 본 연구에 사용된 발신기는 두 종류로 캐나다 Vemco사 제품 (V7, Vemco,

**Table 1.** Basic information (tagging and release date, and release site) of tag application on *E. erythropterus* for movement monitoring.

ID	Total length (mm)	Standard length (mm)	Body weight (g)	Monitoring periods		Release site	Last location	Accumulated detected distance (km)	Home range (km)
				Release date	Last detection				
E01	463	375	588.9	2011.5.2	2011.7.25	N02	N03	59.9	15.9
E02	393	347	377.3	2011.5.2	2011.5.8	N02	N04	6.5	6.5
E03	395	334	345.2	2011.5.2	2011.5.28	N02	N04	6.5	6.5
E04	399	332	357.3	2011.5.2	2011.5.17	N02	N03	12.3	6.5
E05	382	315	242.5	2011.6.3	2011.6.9	N02	N04	6.5	6.5
E06	413	344	314	2011.6.3	2011.10.23	N02	N05	15.9	15.9
E07	412	342	357.7	2011.6.3	2011.6.10	N02	N04	6.5	6.5
E08	392	325	290.7	2011.6.3	2011.6.20	N02	N03	0.7	0.7
E09	402	335	279.2	2011.6.13	2011.7.3	N07	N06	9.7	9.7
E10	405	337	333.6	2011.6.13	2011.6.23	N07	N06	9.7	9.7
E11	384	319	284.6	2011.6.13	2011.9.16	N07	N06	29.1	9.7
E12	354	292	175.7	2011.6.13	2011.6.13	N07	N07	-	-
E13	429	362	325.5	2011.9.27	2011.9.28	N10	N09	4.5	4.5
E14	417	360	375.8	2011.10.1	2011.11.2	N10	N06	36.7	36.7

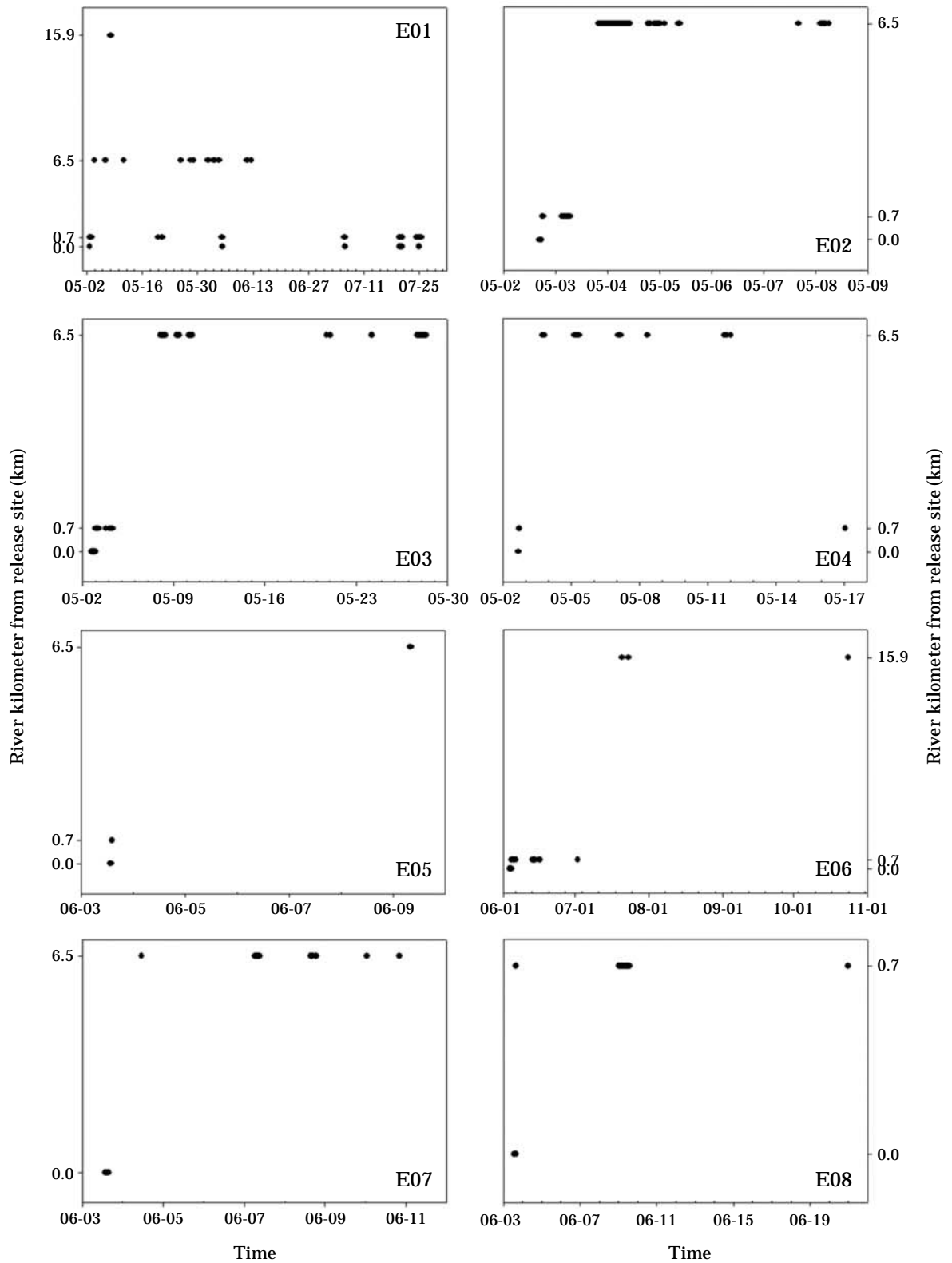
Canada)과 노르웨이 Thelma사의 제품(MP-9, Thelma Biotel AS, Norway)이었다. 제조사는 다르지만 두 제품은 크기와 송출방식이 동일하여 본 연구에서 사용한 수신기에 안정적으로 신호가 감지되었으며 발신기의 수명 또한 최대 3~4개월 정도로 유사하였다. 발신기에서 송출되는 음파를 수신하기 위해서 VR2W 수신기(Vemco, Canada)를 이용하였다. 발신기를 삽입하기 위한 채집 후 어류는 현장에서 Ethyl 3-aminobenzoate methanesulfonate salt (Sigma-Aldrich, Germany)를 이용하여 마취시킨 후 전장(Total length, TL), 체장(SL), 체중(Body weight, BW)을 측정하였다. 모든 측정을 마친 개체는 어류의 가슴지느러미와 배지느러미 사이의 부분을 2 cm 가량을 절개하여 복강에 발신기를 삽입하였다. 발신기 삽입 후 봉합사(SK442, AILEE Co., South Korea)를 이용하여 봉합을 실시하였으며 수술부위의 감염을 막기 위하여 체중의 1%에 해당하는 양의 항생제(Kanamycin sulfate, Sigma Aldrich, Germany)를 수술 부위에 투여하였다. 최종적으로 생체용 접합제(Vetbond, 3M, USA)를 이용하여 수술부위를 접합하였다. 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

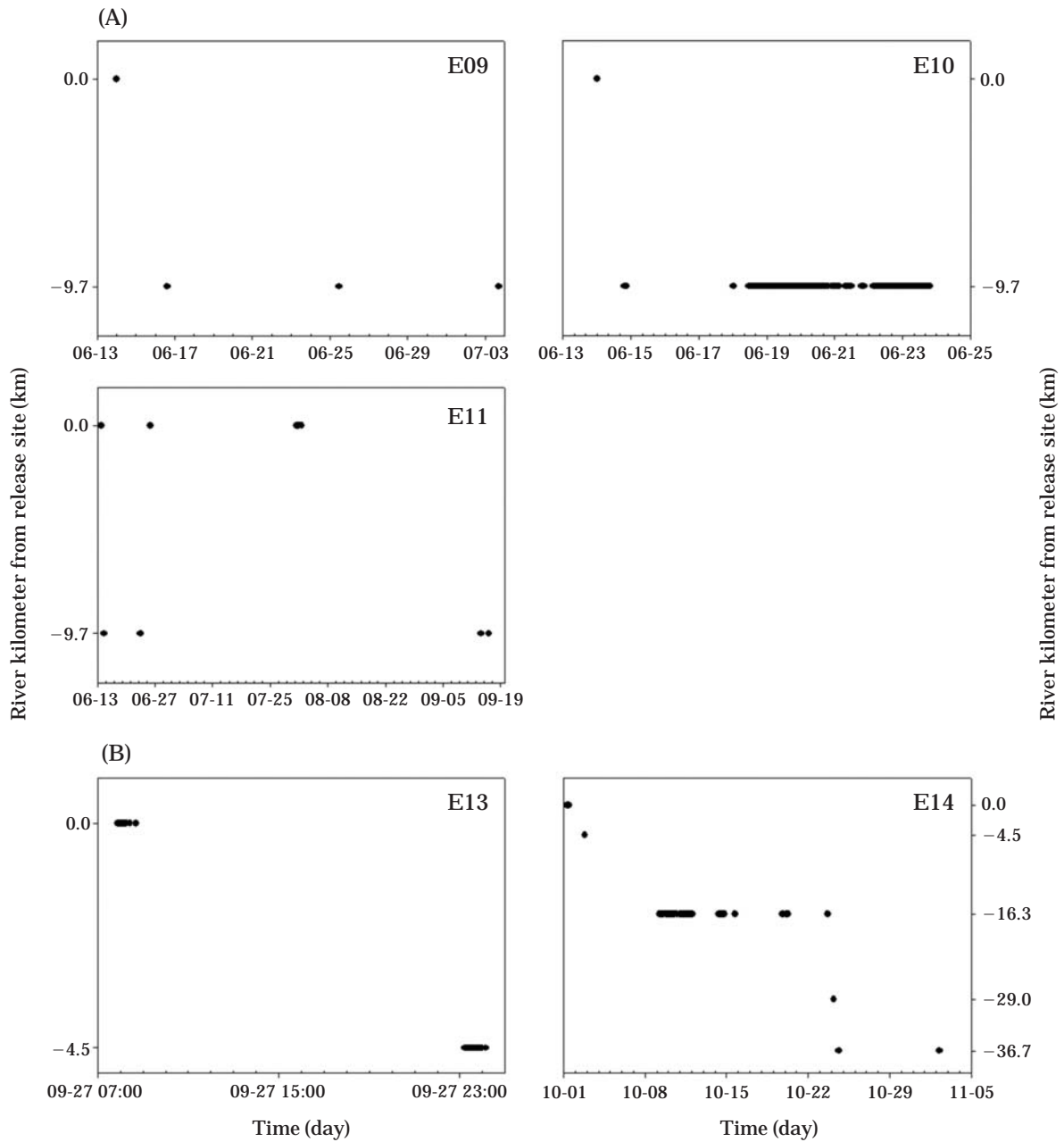
발신기가 부착된 어류의 이동을 모니터링하기 위하여 총 12개의 수신기를 조사구간 내에 설치하였다. 설치된 수신기는 발신기가 삽입된 어류가 수신기를 통과할 때 자동으로 신호가 기록되며 이후 본 자료를 토대로 어류

의 이동 경로를 파악하였다. 방류한 어류가 낙동강 하구 독을 통과해 해수로 이동하는지, 이동한다면 어느 경로로 이동하는지를 자세하게 파악하기 위해 설치된 N01지점에서 N03지점 사이의 수신기간 거리는 모두 1 km 이내였다. 또한 N04지점은 N03지점과 약 5~8 km 가량 이격되어 있었다. 이외의 수신기들은 대부분 10~20 km 이내의 거리를 두고 설치하였으며, 또한 어류의 창녕함안보 통과 여부를 확인하기 위하여 보 상류지점에도 1개의 수신기를 설치하였다. 수신기의 신호 감지범위는 반경 약 200 m로 낙동강의 수로폭을 전반적으로 포함할 수 있었다. 추가적으로 지천으로의 이동을 확인하기 위하여 밀양강(N12) 지점에도 수신기를 설치하여 이동을 모니터링하였다. 수신기는 설치 이후 자료의 다운로드와 유실방지를 위해 약 한 달 간격으로 정기적으로 확인하였다. 분석에 사용된 서식처 범위는 각 조사대상 개체들이 모니터링 기간 동안 이동한 것으로 나타난 하천 상·하류 전체(최대)의 구간을 의미하며, 누적 감지거리는 감지된 수신기 사이의 거리의 합을 의미한다. 이후 개체별 결과들은 종합적으로 정리하였다.

표지 후 방류한 총 14개체의 강준치 중 분석에 사용한 개체는 방류 이후 단 한 번도 신호의 감지가 되지 않는 E12 개체를 제외한 13개체였다. 표지한 개체들의 크기와 이동거리와의 상관성을 파악하기 위하여 강준치의 체장(SL)과 누적감지거리(accumulated detected distance)를 Spearman rank correlation을 통해 분석하였다. 뿐만 아니라 누적이동 거리와 서식처 범위의 차이분석을 위해 Wilcoxon Signed rank test를 시행하였다. 본 연구에서



**Fig. 2.** Fish movement and route of eight *E. erythropterus* individuals (E01~E08) that were released at N02 (E01~E04, released in 02 May; E05~E08, released in 02 June). X-axis and Y-axis indicate time and receiver distance from release site, respectively.



**Fig. 3.** Fish movement and route of five *E. erythropterus* individuals which were released at N07 (A, E09~E11, released in 13 June) and N10 (B: E13 and E14, released in 27 September and 01 October, respectively). X-axis and Y-axis indicate time and receiver distance from release site, respectively.

실시된 모든 분석은 SPSS 18.0 (SPSS Inc., USA)을 이용하여 시행하였다.

**결 과**

낙동강 중, 하류에서 발신기 부착 후 방류한 강준치의 이동은 Table 1과 같이 나타났다. 연구에 사용된 개체들

의 누적감지거리는 0.7~59.9 km였고, 서식처 범위의 경우 0.7~36.7 km인 것으로 나타났다. 일부 개체들(E01, E11, E14)은 넓은 이동을 보였지만 대부분의 개체들이 10 km 전후의 누적감지거리를 보였다. 또한 강준치가 주로 이용하는 서식처 범위도 10 km 이내로 나타나 이동거리와 서식처 범위에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다 (Wilcoxon signed rank test,  $p > 0.05$ ).

낙동강 하구둑 상부(N02)에서 방류한 개체들 중 5월 2일에 방류한 개체들인 E01~E04개체들은 모두 방류 이후 상류로쪽으로 이동을 하였다(Fig. 2). E01은 5월 2일 방류한 어류 중 가장 활발한 이동을 보인 개체로 방류지점에서 15.9 km 상류에 위치하고 있는 N05지점까지를 서식처 범위로 사용하였으며, 누적감지거리는 59.9 km로 방류한 개체들 중 가장 많이 이동한 것으로 나타났다.

이외의 개체들은 6.5 km의 서식처 범위를 보였으며, E04개체는 6.5 km 상류의 N04지점까지 이동한 이후 방류지점 인근으로 돌아온 것으로 나타났다. 6월 3일 방류한 개체들도 크게 다른 이동 패턴을 보이지는 않았다. E05와 E07개체들은 6.5 km 상류까지 이동 하였으며, E06개체는 15.9 km 상류지점까지 이동하였다. E08개체는 방류 이후 서식처 범위가 0.7 km로 제한적이었다. 누적이동거리는 전 개체에서 서식처 범위와 동일하게 나타났으며 E06개체를 제외하고 다른 개체들은 방류 이후 1개월 이내에 신호가 사라졌다(Table 1).

6월 13일 삼랑진(N07) 지점과 9월 27일과 10월 1일 창녕함안보 하류(N10) 지점에서 방류한 개체의 이동은 Fig. 3과 같이 나타났다. N07 지점에서 6월 13일 방류한 개체들은 신호가 전혀 감지되지 않은 E12개체를 제외하고 모두 방류지점으로부터 9.7 km 하류까지를 서식처 범위로 활용하고 있었으며, E11개체의 경우 본 서식처 범위를 지속적으로 왕래하는 것으로 확인되었다(Fig. 3A). 본 지점에서 방류한 개체들 중 방류 직후 바로 상류쪽으로 이동한 개체는 확인할 수 없었다. 창녕함안보 하류에서 방류한 개체들은 상류로의 이동 없이 하류로의 이동만을 나타냈으며, E13개체는 방류 이후 약 16시간이 경과한 시점에서 4.5 km 하류에 위치한 지점에서 신호가 감지된 이후 더 이상 신호의 감지가 이루어지지 않았다. 반면 E14개체는 약 한달 정도의 시간을 두고 36.7 km 하류에 위치하는 N06지점까지 이동하여 본 연구에 적용된 개체들 중 가장 넓은 이동 범위를 나타냈다(Fig. 3B).

본 연구에서 모니터링한 강준치 개체들의 크기(체장)는 누적감지거리와 상관성이 없는 것으로 나타났으며(Spearman rank correlation,  $r_s=0.248$ ,  $p>0.05$ ), 서식처 범위 또한 유의한 상관을 확인할 수 없었다( $r_s=0.347$ ,  $p>0.05$ ). 체장 이외에 체중과도 이동거리에 대한 상관성을 확인할 수 없었다( $p>0.05$ ).

## 고 찰

강준치를 대상으로 한 본 연구에서는 어류의 크기에

따른 이동거리 차이는 크지 않은 것으로 확인되었다. 많은 어류에 있어 이동거리 및 서식처 범위는 어류의 크기, 서식처의 면적 등과 관련이 있는 것으로 보고되어 있지만(Keefer *et al.*, 2009; Woolnough *et al.*, 2009) 본 연구의 결과와는 다른 원인은 조사대상 크기의 유사함에 기인하였을 것으로 판단하였다. 잠재적인 서식 가능 지역인 낙동강 중·하류의 크기가 충분함에도 불구하고 크기와 상관성이 낮게 나타난 이유는 조사대상 어류의 체장 범위가 크지 않았기 때문인 것으로 사료되었다. 또한 본 연구방식이 어류의 이동 경로와 전체적인 서식처 범위를 밝히는데 용이하지만 누적감지거리의 경우 수신기 사이의 거리로 인하여 감지되지 않은 부분도 많았을 것으로 판단된다. 본 연구의 결과에 의하면 강준치의 경우 서식처 범위가 10 km 내외이지만 실제로 연구를 위해 설치된 수신기 사이의 거리가 가장 먼 경우 20 km (N05~N06)에 이르고 다수의 지점에서 10 km 가량 유지되고 있어 강준치의 서식처 범위를 넘었다. 따라서 이러한 부분에서 이동에 대한 관측 손실이 있었을 것으로 판단되지만 최소한 결과에 나온 거리 이상은 이동한다는 것은 확인되었다. 결과적으로 수신기의 숫자를 늘여 설치 거리를 좁힌다면 좀 더 자세한 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

일부 개체를 제외하고 다수의 개체들이 방류 이후 한 달 이내의 시간에 신호가 더 이상 감지되지 않는 것으로 확인되었다. 이는 앞서 언급한 개체의 서식처 범위와 수신기의 설치위치뿐만 아니라 본류 이외의 지천으로 이동 또한 관련이 있을 것으로 판단되었다. 수신기의 설치위치인 N04와 N05사이에 서낙동강이 흐르면서 일부 개체들은 서낙동강 수계를 따라 이동했을 가능성도 존재하였다. 하지만 본 연구에서 밀양강의 경우 지천으로 이동해 온 개체를 감지하지 못했는데 이는 발신기를 적용한 개체의 수가 많지 않기 때문에 표본의 수를 더욱 확보한 후 논의가 가능할 것으로 판단된다. 이와 같은 원인 이외에 상업어로로 인한 영향과 수술에 의한 가능성이 있었다. 하지만 조사기간동안 공사가 진행되면서 대부분의 낙동강 수계에서 상업어어가 시행되지 않고 있는 것으로 나타나 상업어어에 대한 영향을 미미했을 것으로 판단된다. 또한 수술의 경우 이미 연구실에서 대상종에 대한 실험연구를 통해 사망률을 파악한 후 진행하였기 때문에 이와 같은 문제도 큰 영향을 미치지 않았을 것으로 사료된다. 뿐만 아니라 신호가 전혀 감지되지 않았던 E12개체는 이동이 없었던 것이 아니라 어체 내에 삽입한 발신기가 오작동을 일으킨 것으로 판단된다.

모니터링 기간 동안 창녕함안보를 통과하여 상류로 이

동한 개체는 확인되지 않았는데 이는 조사시기의 문제인 것으로 판단된다. 창녕함안보 공사가 시작된 이후 물막이와 보 설치에 진행되면서 어류의 이동이 불가능해졌고 뿐만 아니라 어도가 완공이 되지 않아 보 하류에서 상류로 어류가 이동할 수 없었다. 실제로 수생태계의 연결성을 확보하는데 중요한 역할을 하는 어도 (Calles and Greenberg, 2005; Prato *et al.*, 2011)가 설치되지 않으면 어류의 이동에 어려움이 발생한다. 뿐만 아니라 연구에서 적용된 어류의 개체수가 많지 않고 강준치의 서식처 범위가 크지 않은 것도 상류로 이동을 확인하는데 어려움을 준 요인으로 판단되었다.

본 종의 경우 이입종이기 때문에 다른 수계에 서식하고 있는 동일한 종과 이동 양상 차이를 확인해볼 필요성이 존재한다. 동일한 종이라고 해도 서식처의 환경에 따라 서식처를 활용하는 방식 및 규모가 다르기 때문에 (Almeida *et al.*, 2012), 비록 이입되어온 낙동강 수계에서는 이와 같은 이동을 보였지만 실제 서식하고 있던 원 서식처에서 이동은 다를 가능성이 존재한다. 따라서 원 서식처인 금강이나 한강에서 동일한 종에 대한 이동을 평가하여 비교한다면 어류의 생태적인 측면뿐만 아니라 다양한 관리방안을 마련하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

최근 국내에서는 수자원 확보와, 홍수 방지, 수질 증진을 위한 4대강 살리기 사업이 마무리되었다. 낙동강에는 8개의 보가 건설되었으며 보의 건설과 함께 대규모의 준설도 시행되었다. 이러한 공사는 유속, 유량, 수심, 수위, 탁도, 하상구조의 변화 등과 같은 물리적인 수환경 변화를 유발하고 또한 이런 변화들은 직·간접적으로 어류의 분포 및 서식에 영향을 끼치게 된다. 어류는 이동 능력이 다른 수서생물들에 비해 뛰어나 일반적으로 서식처가 교란된 상황에서는 더 나은 상황을 찾아 이동할 가능성이 크다. 특히 본 사업과 같은 한 하천 내에서 동시적으로 과업이 진행되는 상황에서는 결국 본류보다는 공사에 의한 영향을 받지 않는 지류로 이동할 가능성이 있기 때문에 지천으로의 이동에 대한 연구도 실시하였으나 지천으로 이동한 개체는 확인되지 않았다. 이처럼 본 연구는 다수의 교란이 발생하고 있는 4대강공사 기간(2010~2011년) 내 이루어졌다. 따라서 공사전과 같이 교란이 없으며, 공사후와 같이 수체의 환경이 변한 상태에서 어류의 이동이 본 연구결과와 차이가 있을 수 있기 때문에 추후 교란이 없는 환경에서의 추가 연구를 통한 비교가 필요하다.

보 건설 이후의 경우 하천을 가로지르는 대형 보 구조물과 이로 인하여 발생하는 서식처 환경의 변화(유수역에서 정수역으로)는 하천을 단절시킴으로써 산란을 위해 상류나 하류로 이동하는 회귀성 어류나 담수역 내에서 국

지적으로 이동하는 어류의 이동에 영향을 주어 생물적 단절 현상을 야기할 가능성이 있다. 이와 같은 문제의 해결을 위하여 보 건설시 생물의 이동을 원활하게 유지하고 단절에 의한 영향을 최소화하기 위하여 낙동강에 건설된 보별 1~2개소의 어도가 건설되어 있다. 어도의 경우 기본적으로 어도를 주로 이용할 것으로 예상되는 회유성 어종 및 유영 능력이 좋은 어종의 생태자료를 이용하여 설계가 이루어진다. 현재 낙동강의 여러 보에 설치되어 있는 어도는 하류에 서식하는 어류가 상류로 이동할 수 있는 유일한 통로로 회유성 어종 및 유영능력이 좋은 어종을 포함한 낙동강 본류에 보편적으로 서식하는 종들의 이동이 가능해야 한다. 따라서 보의 완공 이후 낙동강에 서식하는 어류의 원활한 이동을 위해서 보별 어도 통과에 대한 연구가 필수적으로 이루어질 필요성이 있다.

본 연구에서 제시된 결과인 강준치의 서식처 범위와 이동거리는 앞서 언급하였듯이 수신기 사이의 거리에 대한 문제로 인하여 실제 강준치의 실제 이동과 차이가 있을 가능성이 있다. 그럼에도 불구하고 본 연구의 결과는 추후 본 종을 대상으로 한 보다 정밀한 연구를 진행하는데 있어서 도움이 될 것으로 판단된다. 국내에서는 현재까지 담수종을 대상으로 얼마나 이동하는지 어디로 이동하는지에 대한 연구가 거의 전무하였다. 따라서 본 연구에 사용된 종 이외에 경제성 어종이나 멸종위기종, 천연기념물을 대상으로 이와 같은 연구를 실시한다면 종을 복원하거나 보존, 혹은 보호구역을 설정하는데 있어서도 실질적인 자료를 제공할 수 있을 것으로 사료된다. 물론 본 연구가 일부 제약으로 인해서 완벽한 결과를 제시하지 못한 측면이 있지만, 이를 바탕으로 연구범위 전반을 포함할 수 있는 충분한 수의 수신기와 목적에 따른 발신기의 life time을 전반적으로 고려한다면 충분한 결과를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

## 적 요

수중음향측정 방식은 어류이동에 대한 연속적인 자료를 확보하기 위해 사용되는 방식으로, 대형하천이나 하구에서 이동하는 어류의 이동에 용이하게 활용된다. 낙동강은 남한에서 가장 긴 하천으로 연속적인 보의 설치로 인하여 하천의 변형이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 국내에 서식하는 잉어과 어류인 강준치를 대상으로 하여 수중음향측정방식을 적용, 서식처범위 (home range)와 이동거리, 이동패턴에 대한 모니터링을 시행하였다. 연구는 낙동강 하구둑부터 창녕함안보까지의 약 80 km 구간을



대상으로 총 14개체의 강준치를 3지점에 방류하여 모니터링을 수행하였다. 하구둑(N02)에서 방류한 8개체들은 방류지점으로부터 15.9 km 상류지점까지를 서식처 범위로 하여 이동하였고, 삼랑진(N07)에서 방류한 4개체들은 신흥가 사라진 E12개체를 제외하고 하류로 이동하였으며, 9.7 km 구간을 서식처 범위로 활용하였다. 2개체가 방류된 창녕함안보(N10)에는 모두가 하류로 이동 하였으며, 이중 E14개체는 32일 동안 가장 긴 누적감지거리(36.7 km)를 이동하였다. 강준치의 체장과 누적감지거리, 서식처 범위의 상관성이 없는 것으로 확인되었다(Spearman rank correlation,  $p > 0.05$ ). 비록 본 연구 방식이 담수어류의 이동에 유용하지만 좀 더 자세한 결과를 확보하기 위해서는 수신기의 수와 적용하는 발신기의 수를 증가시킬 필요성이 있다.

## 사 사

본 연구는 2011년도 낙동강수계 환경기초조사사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 인 용 문 헌

- Allan, J.D. 1995. Stream Ecology. Structure and function of running waters. Chapman and Hall, London.
- 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.
- Buisson, L., L. Blanc and G. Grenouillet. 2007. Modeling stream fish species distribution in a river network: the relative effects of temperature versus physical factors. *Ecology of Freshwater Fish* **17**: 144-157.
- Calles, E.O. and L.A. Greenberg. 2005. Evaluation of nature-like fishways for re-establishing connectivity in fragmented salmonid populations in the River Emán. *River Research and Application* **21**: 951-960.
- DeCicco, A.L. 1992. Long-distance movements of anadromous Dolly Varden between Alaska and the U.S.S.R. *Arctic* **45**: 120-123.
- 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.
- Kouamélan, E.P., G.G. Teugels, V. N'Douba, G.G. Bi and T. Koné. 2003. Fish diversity and its relationships with environmental variables in a West African basin. *Hydrobiologia* **505**: 139-146.
- Large, A.R.G. and G.E. Petts. 1992. Rehabilitation of river margins, p. 401-418. *In: The River Handbook*. vol. 2. (Calow, P. and G.E. Petts, eds.). Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Lucas, M.C. and E. Baras. 2001. Migration of Freshwater Fishes. Blackwell Science, Oxford.
- Matthews, W.J. and H.W. Robison. 1988. The distribution of the fishes of Arkansas: a multivariate analysis. *Copeia* **1988**: 358-374.
- Matthews, W.J., D.J. Hough and H.W. Robison. 1992. Similarities in fish distribution and water quality patterns in streams of Arkansas: congruence of multivariate analysis. *Copeia* **1992**: 296-305.
- Moyle, P.B. and J.J.Jr. Cech. 2000. Fishes: an introduction to ichthyology (4<sup>th</sup> edition). Prentice Hall Inc, New Jersey.
- 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.
- Rodriguez, M.A. 2002. Restricted movement in stream fish: the paradigm is incomplete, not lost. *Ecology* **83**: 1-13.
- 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.
- Yoon, J.D., J.H. Kim, G.J. Joo and M.H. Jang. 2012. Post-passage movement of the fluvial fish *Zacco temminckii* following upstream transportation by a fishway operation in dam. *Aquatic Ecology* **46**: 421-430.

(Manuscript received 20 September 2012,  
Revised 1 November 2012,  
Revision accepted 14 November 2012)