

Radio telemetry를 이용한 금강 보 설치구간에서 쏘가리 (*Siniperca scherzeri*)의 이동 특성

백승호 · 윤주덕² · 김정희 · 박상현 · 이진웅 · 장민호 · 김수경¹ · 변명섭^{1,*}

공주대학교 생물교육과, ¹국립환경과학원 물환경연구부 유역생태연구팀
²공주대학교 생물자원연구센터

Evaluation of the Movement Pattern of *Siniperca scherzeri* Using the Radio Telemetry in the Middle Part of the Geum-River where Wiers were Constructed Recently. Baek, Seung-Ho, Ju-Duk Yoon², Jeong-Hui Kim, Sang-Hyeon Park, Jin-Woong Lee, Min-Ho Jang, Su Kyung Kim¹ and Myeong-Seop Byeon^{1,*} (Department of Biology Education, Kongju National University, Gongju 314-701, Korea; ¹Watershed Ecology Research Team, Water Environment Research Department, National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea; ²Biology Resource Center, Kongju National University, Gongju 314-701, Korea)

Abstract *Siniperca scherzeri* is major target species for restocking and restoration project as it is one of the economic species in South Korea. In this study, to investigate their ecological characteristics movement pattern and habitat characteristic of *S. scherzeri* were analyzed using radio telemetry. Three specimens released during spawning season, moved more than 10 km toward upstream from the release site. Whereas the remains released after spawning season, settled within 400 m of their release site except two specimens (Ss 11, 3.2 km; Ss, 15, 1.4 km). One of possible reason of upstream movement during spawning season is reproduction. The conditions of their settlement area is similar with reference conditions of their spawning ground. *S. scherzeri* were mainly detected near the edge of the water, and it may related with the facts that rocks are mainly located at the edge of the water and *S. scherzeri* prefers rocks for their shelter. AMD (Accumulated movement distance) positively related with body weight and condition factor *K*, but no significant relationship was identified with gender and total length. Daily movement boundary of *S. scherzeri* was 214.94 m²~3,257.19 m², and their movement was restricted near the edge of the water. The results of this study could be useful to restocking and restoration.

Key words: mandarin fish, migration, habitat range, spawning

서 론

최근 4대강 사업을 통해 대형 보가 설치됨에 따라 4대강

의 중, 하류 구간의 수심이 깊어지고 정수화 되는 등 다양한 환경 변화가 수반되었다. 이러한 서식 환경의 변화는 지역 어류 군집에 상당한 변화를 초래 (Barry, 1990; Mallen-Cooper and Harris, 1990)할 수 있으며, 그러한 구조물은 특히 어류의 이동에 상당한 제약을 미칠 수 있다 (Lucas *et al.*, 2009). 대다수의 어류가 산란을 위해 적절한 서식처를 찾아 이동하는데 (Northcote, 1978, 1984; Lucas and Baras, 2001), 이러한 이동의 제약은 어류 개체군에 부정적인 영

Manuscript received 28 December 2015, revised 1 June 2015,
revision accepted 3 June 2015
* Corresponding author: Tel: +82-32-560-7459, Fax: +82-32-568-2051,
E-mail: Zacco@korea.kr

향을 미칠 수 있다.

어류의 경우는 물 속에서 생활하기 때문에 육상 생물과 비교하여 상대적으로 접근하기 어렵고 관찰하기 힘든 특성을 가지고 있어 Radio telemetry (무선 원격측정법)와 같은 원격추적방법을 이용한 연구가 어류의 생태적 특성을 파악하는 데 매우 중요하다고 할 수 있다. 무선 원격측정법은 1960년대 초부터 FM (Frequency modulation)을 이용하여 야생에서 생물의 생태적 연구를 진행하는 데 사용되기 시작하였다 (Kenward, 2001). 이후 라디오 발신기 (radio tag)의 발달은 어류의 행동과 이동에 관한 연구에도 중요한 진보를 이루는 데 큰 기여를 하였다 (Trefethen, 1956; Banks, 1969; Priede and Swift, 1992; Winter, 1996; Stasko and Pincock, 1997). 또한 무선 원격측정법을 이용하면 연구 대상 개체의 정확한 위치를 실시간으로 파악할 수 있으며 연구 대상생물의 생태적 특성을 개체수준으로 연구할 수 있다. 특히 연구 대상의 정확한 위치를 찾을 수 있기 때문에, 대상 생물의 산란장을 추적하기 용이하고 산란장 특성을 밝히는 데 매우 효과적이라고 볼 수 있다. 하지만 라디오 주파수를 이용하는 특성상 연구 대상 지점의 전기전도도가 높은 기수역 혹은 5 m 이상의 수심에서는 신호가 교란되어 추적이 어려울 수 있다 (Lucas and Baras, 2001). 따라서 대상지점의 특성을 고려하여 무선 원격측정법을 적용하는 것이 중요한데, 국내 대부분 하천의 중, 상류 지역은 수심이 5 m 이하이기 때문에 대부분의 하천에서 적용이 가능하다.

농어목 꺾지과에 속하는 쏘가리 (*Siniperca scherzeri*)는 주로 대형 강 중류의 유속이 빠르고 바위가 많은 곳 및 수질이 양호한 호수, 저수지 등에서 서식하지만 최근 하천 오염 및 남획으로 인해 개체수가 매우 감소하였다. 자갈이 깔린 바닥에 산란을 하며, 산란기는 5~7월로 알려져 있으나 (Kim and Park, 2002), 5월 말, 혹은 6월 이후부터 성 성숙도가 감소한다고도 알려져 있다 (Lee *et al.*, 2002). 쏘가리는 국내 내수면 어업의 주요 경제성 어종이며 담수어종 중 기호도가 매우 높은 고급어종으로 경제적 가치가 매우 크다. 하지만 최근 쏘가리의 주요 서식지라고 할 수 있는 4대강에 대형 보가 설치됨에 대규모 환경 변화가 발생하였고, 따라서 쏘가리 개체군의 크기 감소 등 부정적인 영향을 미칠 가능성이 크다.

국내에서 진행된 쏘가리에 대해서는 산란 생태 및 섭식 특성에 관한 연구 (Lee *et al.*, 2012), 어병학적 연구 (Part *et al.*, 2010), 조직학적 연구 (Lee *et al.*, 2002), 계통학적 연구 (Kim and Song, 2011) 등 다양한 연구가 진행되었다. 현재까지 쏘가리의 이동성에 관한 연구는 충주호에서 쏘가리

와 메기의 이동범위 및 행동에 관한 연구 (Kang and Shin, 2010)가 있으나 Acoustic telemetry를 이용한 방법으로 주로 수직 이동에 관한 내용이며, 현재까지 하천에서 쏘가리의 이동성에 관한 연구는 전무한 실정이다. 본 연구에서는 무선 원격측정법을 이용하여 금강의 보 설치 구간에서 쏘가리의 이동특성 및 서식처 특성을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사 지점 및 시기

조사 지점은 보 설치 이전부터 쏘가리가 다수 서식하던 곳을 선정하고자 하였다. 탐문 조사를 통해 보 설치 이전 쏘가리의 주요 서식처였던 금강 중류 구간의 청백대교 (세종특별자치시 장군면 금암리)를 확인하였고, 금강 중류 구간을 대상으로 조사 대상 하천을 선정하였다. 현재 금강에는 하류로부터 백제보, 공주보, 세종보 총 3개의 대형 보가 설치되어 있으며, 백제보 상류부터 세종보 하류까지 약 41 km 구간을 대상으로 연구를 진행하였다 (Fig. 1). 연구 대상 지점의 수심은 3 m 내외이며, 무선 원격측정법을 적용하는데 문제가 없었다. 쏘가리의 산란기 이동을 파악하기 위해 2014년 4월부터 11월까지 약 7개월간 연구를 진행하였다.

2. 어류의 채집 및 라디오 발신기 (radio tag) 삽입

쏘가리는 금강 본류구간에서 정치망을 이용하여 채집하였으며, 공주보 아이스하버식 어도와 복합형 어도의 출구부에 트랩을 설치하여 채집하였다. 트랩은 쏘가리가 어망으로 인해 받을 수 있는 스트레스를 최소화 하기 위해 4시간마다 채집 여부를 확인하였고, 정치망의 경우 24시간 동

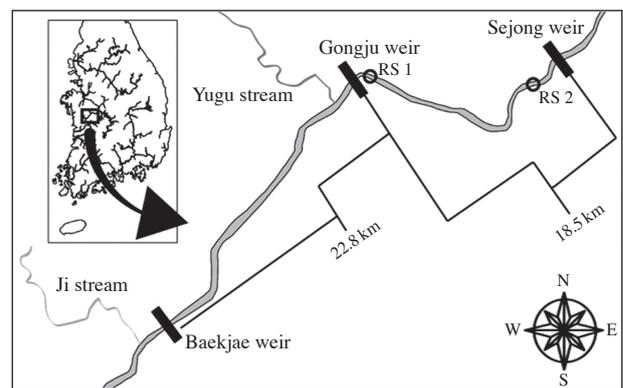


Fig. 1. Map showing the release site and tracking area.

안 정치하였다. 어도 출구부에서 채집된 개체의 경우 현장에서 즉시 발신기 (radio tag)를 부착하여 방류하였으나, 정치망으로 채집된 개체들은 어망 내에서 스트레스를 받는 시간이 길었고, 피부에 상처 등을 회복하기 위해 실험실로 운반되어 7일간 순치 후 발신기를 부착하여 방류하였다.

라디오 발신기 (radio tag)는 외과적 수술을 통하여 쏘가리의 복강에 삽입되었다. 수술 전 안정을 위해 산소발생기가 장착되어 있는 플라스틱 수조 (크기: 1×1×0.8 m)에서 30분 동안 순치시켰다. 이후 Ethyl 3-aminobenzoate 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)을 측정하였다. 라디오 발신기 (radio tag)는 쏘가리의 배지느러미 아래쪽 복강 부위를 1 cm 가량 절개한 뒤 복강에 삽입하였고, 봉합사 (SK442, AILEE Co., Korea)를 이용하여 봉합하였다. 봉합 후 생체용 접합제 (Vetbond, 3M, USA)를 이용하여 수술부위에 외부물질의 침투를 방지하였다.

Table 1. Radio tag specifications.

Model	Size (w×l) (mm)	Weight (air) (gram)	Calculated life (days)
NTC-4-2S	8×15	1.40	75
NTC-6-1	9×22	2.80	100
NTC-6-2	9×30	4.30	200

이후 감염을 막기 위하여 체중의 1%에 해당하는 양의 항생제 (Kanamycin sulfate, Sigma-Aldrich, Germany)를 절개부 주변 근육조직에 주사하였다. 수술이 마무리된 후 산소 공급이 충분히 이루어지고 있는 플라스틱 수조 (크기: 1×1×0.8 m)에서 완전히 회복될 때까지 기다린 뒤 방류하였다. 수술 시간은 3분 이내로 가능한 빠르게 하였으며 수술 과정 중 감염을 최소화하기 위하여 모든 수술도구를 70% 에탄올로 소독하였다.

연구에 사용된 라디오 발신기 (radio tag; lotek, Canada)는 어류의 크기에 따라 총 3종류의 발신기 (NTC-4-2S, NTC-6-1, NTC-6-2)를 사용하였으며 쏘가리 체중의 2%가 넘지 않도록 하였다. 사용된 발신기의 제품 정보는 Table 1과 같다.

3. 쏘가리의 방류 및 어류 추적

쏘가리의 표지 및 방류는 2지점에서 이루어졌으며 (Fig. 1), 총 15개체를 방류하였다 (Table 2). 4월 29일 4월 30일, 5월 13일에 각각 1개체씩 공주보 아이스하버식 어도 출구부에서 채집하여서 공주보 상류 (RS 1)에서 방류하였다. 이후 금강 본류구간에서 정치망으로 채집하여 5월 25일에 공주보 상류 (RS 1)에서 총 6개체, 6월 23일에 총 5개체를 세종보 하류 (RS 2)에 방류하였다. 마지막으로 8월 18일에 공주보 복합형 어도 출구부에서 1개체를 채집하여 공주보 상류 (RS 1)에 방류하였다.

Table 2. Basic information and individual characteristic of released *Siniperca scherzeri* after radio tag application.

ID	Sex	TL (mm)	SL (mm)	Weight (g)	K	Released date	Released time	Released site	Tracking days	AMD (km)	AMD/Day (m d ⁻¹)
Ss 1	M	253	212	202.8	1.252	2014-04-29	9:30	RS 1	152	21.95	144.4
Ss 2	F	230	191	180.0	1.479	2014-04-30	6:00	RS 1	165	11.30	68.5
Ss 3	F	242	214	243.7	1.720	2014-05-13	16:30	RS 1	138	17.97	130.2
Ss 4	M	252	208	200.3	1.252	2014-05-25	11:20	RS 1	76	0.52	6.8
Ss 5	M	208	175	92.3	1.026	2014-05-25	11:20	RS 1	169	1.20	7.1
Ss 6	M	236	191	152.6	1.161	2014-05-25	11:20	RS 1	126	0.53	4.2
Ss 7	M	263	221	178.2	0.980	2014-05-25	11:20	RS 1	126	0.41	3.3
Ss 8	M	240	207	136.6	0.988	2014-05-25	11:20	RS 1	3	0.18	—
Ss 9	M	226	188	110.8	0.960	2014-05-25	11:20	RS 1	1	—	—
Ss 10	F	224	187	95.6	0.851	2014-06-23	13:30	RS 2	111	0.35	3.2
Ss 11	F	233	202	116.1	0.918	2014-06-23	13:30	RS 2	97	3.18	32.8
Ss 12	F	187	158	69.7	1.066	2014-06-23	13:30	RS 2	97	0.30	3.1
Ss 13	F	218	179	108.7	1.049	2014-06-23	13:30	RS 2	—	—	—
Ss 14	F	205	173	88.6	1.028	2014-06-23	13:30	RS 2	6	0.23	—
Ss 15	F	231	194	161.7	1.312	2014-08-18	22:30	RS 1	84	1.58	18.8

*TL, Total length; SL, Standard length; K, Condition factor.

*AMD, Accumulated movement distance

*AMD/Day, Average movement distance per day.

쏘가리의 추적은 백제보 상류로부터 세종보 하류까지 약 41 km 구간을 대상으로 실시하였다. 추적은 Biotrack사의 Sika 라디오 수신기와 3-element Yagi 안테나를 사용하여 이루어졌다. 본 연구에서 사용된 radio tag의 감지범위를 테스트한 결과 금강 본류에서 수신범위가 약 300 m로 좌우 600 m의 구간을 모니터링할 수 있는 것으로 나타났다. 연구가 이루어진 금강 본류 41 km 구간의 경우 하폭이 600 m가 넘는 구간이 없기 때문에 고무보트를 타고 하천의 중앙으로 이동하면서 추적을 실시하였다. 모니터링시 신호가 감지된 경우 신호가 나오는 방향으로 천천히 이동하여 대상어류가 위치한 정확한 지점을 파악하였으며, 현장에서 GPS자료를 저장하여 위치를 기록하였다. 산란기를 포함하는 5~7월은 주 2회, 이후로는 2주당 1회씩 추적하였다.

4. 일주기 이동패턴 분석, 서식처 특성 파악 및 최소 서식처 범위 산출

쏘가리의 일주기적 이동패턴 및 서식처 범위를 분석하기 위하여 쏘가리가 정착한 이후 (6월 9일~10일) 24시간 동안 실시간으로 추적하여 GPS 정보를 기록하였다. 총 4 개체 (Ss 1, Ss 2, Ss 3, Ss 4)를 대상으로 실시하였으며 최소 서식처 범위를 산출하기 위해 ArcGIS 10.0 (ESRI, Redlands, USA)을 이용하여 쏘가리의 위치정보를 mapping한 뒤 서식처 면적을 산출하였다. 또한 쏘가리의 서식처 및 산란장 특성을 파악하기 위해 주요 지점에 스쿠버 다이빙을 실시하여 하상구조 등 서식처 특성을 파악하였다.

5. 데이터 분석

각 개체별로 누적 이동거리를 산출하였으며, 누적 이동거리 (Accumulated movement distance)는 총 모니터링 기간 내에 각 개체들의 하천의 상, 하류로 이동한 누적 거리를 의미한다. 또한 누적 이동거리를 추적 일수로 나누어 일평균 이동거리 (Average movement distance per day)를 산출하였으며 이는 최소 30일 이상 추적된 개체들만을 대상으로 하였다. 쏘가리의 이동성과 개체의 특성과의 상관성을 분석하기 위하여 전장, 무게 및 비대지수 (Condition factor, K)와 이동 거리를 Spearman rank correlation을 통해 분석하였다. 또한 성별에 따른 이동 거리의 차이를 분석하기 위하여 Mann-Whitney U test를 시행하였다. 본 연구에서 실시된 모든 통계 분석은 SPSS 18.0 (SPSS Inc., USA)을 사용하였다.

결 과

1. 산란기 이동

4월 말에서 5월 초까지 어도 출구부에서 채집하여 방류한 3개체 (Ss1~Ss3)들은 모두 유사한 이동 패턴을 보였다 (Fig. 2A). 이들은 모두 방류 즉시 10 km 이상 상류로 소상하였고, 정착한 이후로는 매우 적은 이동성을 보였다. 3개체의 일평균 이동거리는 평균 $114.4 \pm 40.4 \text{ m day}^{-1}$ 로 나타났다. Ss 1 개체와 Ss 3 개체는 모두 방류지점으로부터 16.9 km 상류에서 정착하였으며, Ss. 2 개체는 방류지점으로부터 10.5 km 상류에서 정착하였다.

2. 비 산란기 이동

RS 1 (공주보 상류)에서 5월 25일 이후에 방류한 개체들의 경우 장거리 이동을 하지 않고 방류지점 인근에 정착하였다 (Fig. 2B). Ss 15 개체를 제외한 모든 개체가 방류지로부터 400 m 이내에서 정착하였으며, Ss 15 개체의 경우 1.4 km를 이동하여 정착하였다. 이 개체들의 일평균 이동거리는 평균 $8.0 \pm 6.2 \text{ m day}^{-1}$ 로 나타났다. 일부 개체들은 공주보 하류로 이동하였지만, 공주보를 통과하여 상류로 이동한 개체는 없었다.

RS 2 (세종보 하류)에서 방류한 개체들 또한 공주보 상류에서 방류한 개체들과 유사한 결과를 보였다 (Fig. 2C). Ss 11 개체는 방류 즉시 하류로 약 3.2 km 이동하였지만, 다른 개체들은 방류지점으로부터 100 m 이내의 구간에서 정착한 뒤 큰 움직임을 보이지 않았다. 이 개체들의 일평균 이동거리는 평균 $13.0 \pm 17.1 \text{ m day}^{-1}$ 로 나타났다. 공주보에서 방류한 개체들과 마찬가지로 세종보를 통과하여 상류로 이동한 개체는 없었다.

3. 이동거리 분석

각 개체별 전장, 체장, 무게 및 비대지수 (Condition factor, K)와 누적 이동거리의 상관관계를 분석한 결과 누적 이동거리는 무게 및 비대지수와 관련이 있는 것으로 나타났다 (Table 3). 누적 이동거리와 무게의 Spearman r_s 는 0.659 ($p=0.014$)로 양의 상관성을 나타냈으며, 비대지수 또한 Spearman r_s 는 0.564 ($p=0.045$)로 양의 상관성을 보였다. 개체의 크기 (전장, 체장)의 경우 이동거리와 관련이 없는 것으로 나타났다. 성별과 이동거리의 Mann-Whitney U test 결과 유의 확률 0.775로 관련이 없는 것으로 나타났다.

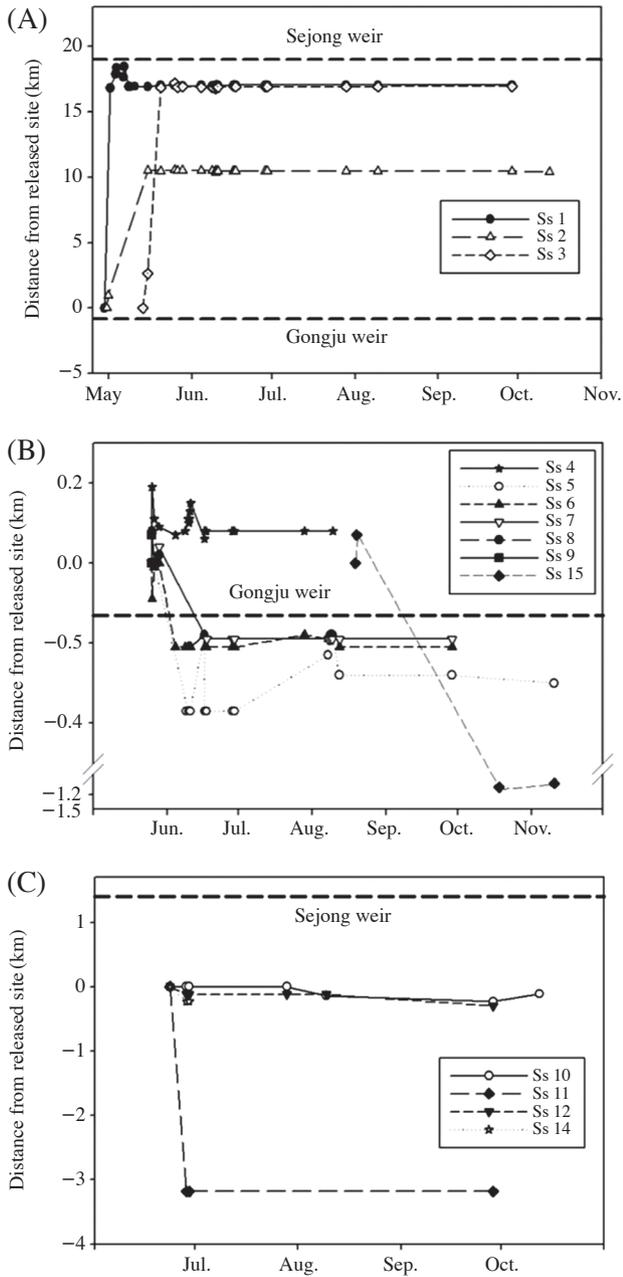


Fig. 2. Movement pattern of *Siniperca scherzeri* (A: Ss 1~Ss 3, Released at the RS 1; B: Ss 4~Ss 9, Ss 15, Released at the RS 1; C: Ss 10~Ss 12, Ss 14, Released at the RS 2).

4. 쏘가리가 감지된 지점의 수변부로부터 거리

약 7개월간의 쏘가리 추적 결과 총 198회 쏘가리의 위치를 감지하였다. 확인된 쏘가리 위치의 수변으로부터 거리는 Fig. 3과 같이 나타났다. 10 m 이내에서 감지된 횟수가 총 79회로 가장 빈번하게 나타났으며, 거리가 멀어질수록 점차 빈도가 낮아지는 것으로 나타났다. 30 m 이내 범위에서 총 162회 감지되었으며, 총 감지 횟수 중 81.8%의 비율

Table 3. Spearman rank correlation analysis of accumulated movement distance with individual characteristic.

		TL	W	K
AMD	r_s	0.335	0.659	0.564
	P	0.263	0.014*	0.045*
TL	r_s	-	0.813	0.157
	P	-	0.001*	0.609
W	r_s	-	-	0.624
	P	-	-	0.023*

*TL, Total length; W, Weight; K, Condition factor;
*AMD, Accumulated movement distance.

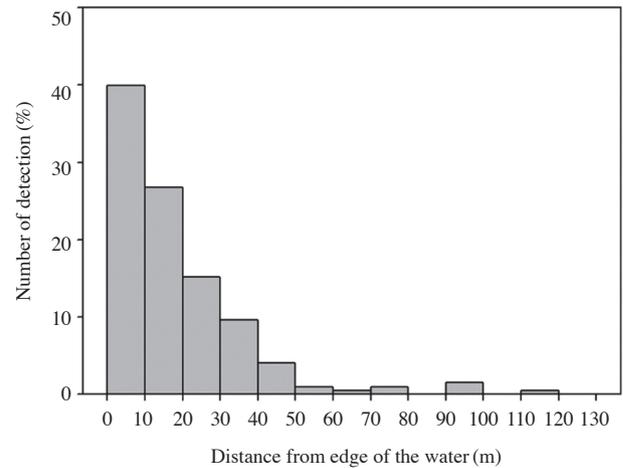


Fig. 3. The number of detections in relation to the distance from edge of the water.

을 보였다.

5. 쏘가리의 일주기 이동 범위

쏘가리의 24시간 실시간 추적 결과 일주기 이동 범위는 Fig. 4와 같이 나타났다. Ss 1~Ss 4번 개체의 최소 서식 범위 산출 결과 214.94 m²~3,257.19 m²로 넓지 않게 나타났으며 주로 수변의 암반 및 바위가 많은 지대에서 머물러 있는 것으로 나타났다. 대부분의 개체가 20 m 이내의 범위에서 이동한 것을 확인할 수 있었지만, Ss 3번 개체의 밤(21시 30분)에 정착지로부터 약 150 m 가량 이동한 것을 확인할 수 있었다.

6. 쏘가리 산란기에 상류로 이동하여 정착한 지점의 서식처 특성

산란기에 방류한 Ss 1번 개체와 Ss 3번 개체의 경우 동일할 지점까지 소상한 뒤 정착하였다. 이 개체들이 정착한 위치는 금강교(세종특별자치시 연기면 세종리)로부터 상

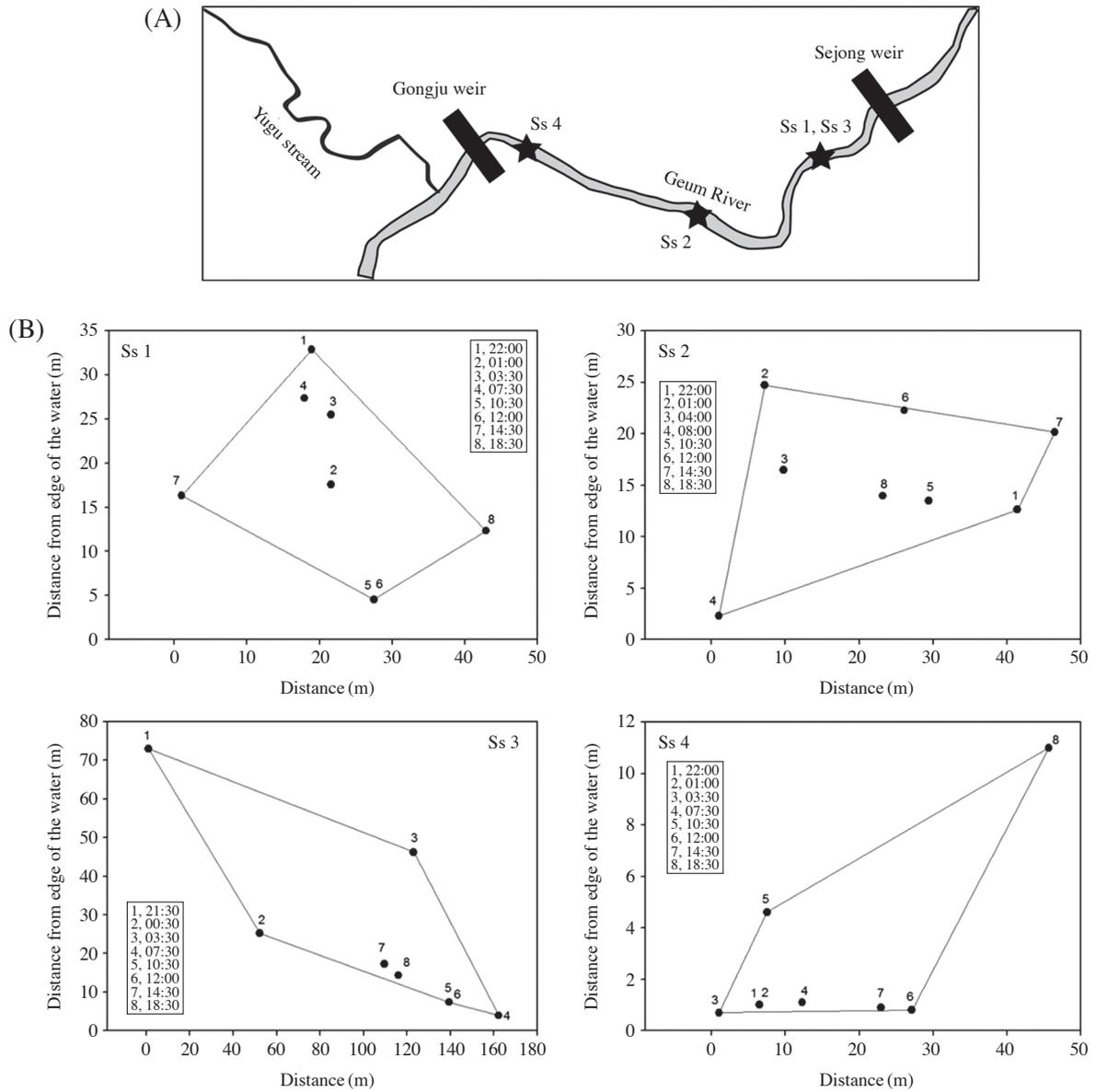


Fig. 4. Daily movement boundary of four individuals (A: Map showing the locations of four individuals, B: Habitat range).

류로 약 200 m 구간이며 서식처 특성은 Fig. 5와 같다. 양 측 수변부와 교각 주변부 하상 구조는 주로 바위와 큰 돌로 구성되어 있었으며 유속은 매우 느렸다. 수심은 1 m 내외이며 중앙측으로 갈수록 깊어지는 형태를 띠고 있었다. 강의 중앙부는 하상이 주로 모래와 자갈로 구성되어 있었다.

고 찰

방류한 15개체 중 3개체 (Ss 1~Ss 3)는 다른 개체들과

달리 명확히 상류로의 이동을 보였다(Fig. 2A). 이 3개체의 경우 공통적으로 산란기에 어도에서 채집하여 방류한 개체들이며, 이후에 방류한 개체들은 장거리 이동을 하지 않고 방류지점 인근에서 정착하였다. 또한 이들의 비대지수 산출 결과 다른 개체들과 비교하여 상대적으로 높게 나타난 것 (Table 2)을 볼 때 성적으로 성숙한 개체들인 것으로 판단된다 (Froese, 2006). 실제로 이들이 정착한 지점은 쏘가리가 산란하기에 적합한 자갈이 깔린 지역이다 (Kim and Park, 2002). 따라서 이 개체들은 산란을 하기 위해 상류로 이동했을 가능성이 크다. 또한 상류로 이동한 3개체가 모

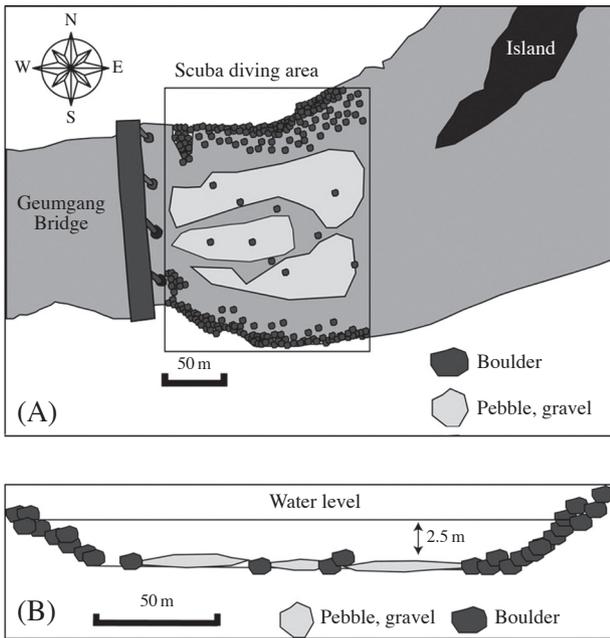


Fig. 5. Description of habitat characteristic for Ss 1 and Ss 3 (A: Plan, B: Sectional view).

두 산란기가 지난 이후에도 다시 하류로 이동하지 않고 정착한 뒤 서식하는 것으로 확인되었다 (Fig. 2A). 이러한 이동 패턴은 산란을 위해서 하천 내에서 회유하는 ‘하천회유성 (Potadromous)’ 생활사와 매우 유사하다 (Raney, 1952; Rose, 2001). 하천회유성 (Potadromous) 어종 중 Striped bass (*Morone saxatilis*)는 쏘가리와 매우 유사한 산란 습성을 가진다. 농어목에 속하는 Striped bass (*M. Saxatilis*)는 쏘가리와 마찬가지로 자갈이 많이 깔린 바닥에 산란하며 (Sublette *et al.*, 1990), 산란기의 수온은 14~21°C로 쏘가리와 매우 유사하다 (Hardy, 1978; Lee *et al.*, 2012). Farquhar and Gutreuter (1989)의 Lake Whitney에서 실시된 Striped bass (*M. saxatilis*)의 이동성 연구 결과 비 산란기에 호수에서 서식하며 산란기에 지류로 이동하여 산란한 뒤 산란장 근처에서 서식하다가 이듬해 봄에 다시 본래 서식처로 돌아가는 것으로 나타났다. 비록 본 연구에서 사용한 발신기의 수명이 길지 않았기 때문에 쏘가리들이 상류로 이동한 이후 정착한 것까지만 확인되었지만 Striped bass의 산란기 이동과 유사한 패턴을 보인 것을 확인할 수 있었다. 하지만 쏘가리의 경우 Striped bass와 다르게 본래의 서식처로 돌아가지 않을 가능성도 있다. Striped bass의 경우 본래 호소에서 서식하던 개체들이 지류로 이동하여 산란하였으며 산란장의 서식처 특성이 본래의 서식처와 달랐지만, 본 연구에서 확인된 쏘가리가 정착한 지점은 금강

의 중류 구간으로 쏘가리가 서식하기 좋은 환경이다. 따라서 다시 먼 거리를 이동하여 본래의 서식처로 돌아가는 것보다 현재 정착한 지점에 서식하는 것이 에너지 측면에서 더 유리할 수 있기 때문이다. 하지만 이와 관련해서는 좀 더 장기적인 연구가 필요하다.

방류한 15개체의 쏘가리 중 12개체 (Ss 4~Ss 15)는 모두 방류 이후 먼 거리를 이동하지 않고 인근에서 정착하였는데 (Fig. 2B, C), 이는 방류한 시기와 관련이 있는 것으로 판단된다. 임진강에 서식하는 쏘가리의 월별 생식소성속도 지수 (GSI) 분석 결과에 따르면 5월 이후로 급격하게 감소하는 것으로 나타났다 (Lee *et al.*, 2012). 따라서 5월 25일 이후에 방류한 개체들은 이미 산란을 했거나 혹은 산란의 준비가 되지 않은 개체들로 판단된다. 비 산란시기에 충주 호에서 실시된 쏘가리의 이동성 연구 결과 (Kang and Shin, 2010) 에 따르면 쏘가리는 방류 후에 방류 지점으로부터 1 km 이내에서 체류하는 경향을 보인 것과 유사하게 나타났다. 이러한 결과는 일반적으로 쏘가리가 정주성 어종으로 알려진 것과 부합하는 결과이다.

방류한 개체의 특성과 누적 이동거리의 상관관계 분석 결과 무게와 비대지수 (Condition factor, K)가 누적 이동거리와 관련이 있는 것으로 나타났다 (Table 3). 개체의 크기는 무게와 직접적인 관련이 있지만 누적 이동거리와 유의한 상관관계를 보이지 않았는데, 이는 방류한 개체의 크기가 모두 20 cm 내외로 유사했기 때문으로 판단된다. 비대지수는 개체의 크기에 비해 무게가 많이 나갈수록 높게 나타나는데, 일반적으로 크기가 같은 경우 성적으로 성숙한 개체가 그렇지 않은 개체보다 더 높은 비대지수 값을 보인다 (Froese, 2006). 따라서 쏘가리는 성적으로 성숙한 개체가 멀리 이동하는 것으로 해석되는데 이는 많은 담수어류의 산란기에 나타나는 일반적인 특성이다 (Lucas and Baras, 2001). 하지만 Ss 4번 개체와 Ss 15번 개체의 경우 비대지수가 비교적 높게 나타났음에도 장거리를 이동하지 않고 방류지 인근에서 정착하였다 (Fig. 2B). Ss 4번 개체의 경우 어도에서 채집하지 않고 정치망으로 채집하여 실험실에서 1주일간 순치한 뒤 방류한 개체이다. 이러한 과정이 이동에 일부 영향을 미쳤을 가능성도 있을 것으로 보인다. Ss 15번 개체의 경우 어도에서 채집하여 즉시 방류한 개체이지만 이동거리가 길지 않았다. 본 개체의 경우 채집 및 방류 시기가 8월 18일로 쏘가리의 산란기가 아닌 점을 고려할 때 산란을 위해서 어도를 통과한 것은 아닌 것으로 판단된다.

본 연구에서 쏘가리가 서식처를 선정하는 데 가장 중요한 요소는 하상 구조로, 큰 돌이나 암반이 많은 곳을 선호

하는 것으로 나타났다. 이는 많은 선행 연구 결과와 일치하는 특성이며 돌 틈에 숨어서 서식하는 습성과 연관이 깊은 결과다 (Kim and Park, 2002; Son and Song, 2006). 또한 쏘가리는 야행성 어종으로 주로 야간에 활동하는 것으로 알려져 있는데 Ss 3번 개체의 경우 야간에 정착지로부터 가장 멀리 이동한 것을 확인할 수 있었다. 서식처 범위의 경우 모두 수변부에 국한되어 있는 것으로 나타나는데 (Figs. 3, 4) 이 또한 수변부에 큰 돌과 바위가 주로 분포하는 것과 관련이 있을 것으로 판단된다. 쏘가리는 주요 경제성 어종으로 수산자원 조성을 위해 주로 방류가 되는 어종 중 하나이다. 쏘가리를 방류할 때에 본 연구의 결과를 바탕으로 서식처 범위, 방류 후 정착하기까지 이동 거리 등을 고려하여 방류 위치를 선정하는 데 활용할 수 있을 것으로 보인다. 또한 이러한 결과는 향후 쏘가리 방류 계획 시, 방류 장소의 면적, 혹은 쏘가리가 서식 가능한 지역의 면적에 따라 몇 개체의 쏘가리를 방류할 것인지 결정하는데 중요한 자료로 사용될 수 있다.

연구 결과 금강교(세종특별자치시 연기면 세종리)로부터 상류로 약 200 m 구간은 쏘가리의 산란장일 가능성이 높다. 본 지점의 경우 보 건설 이전부터 쏘가리가 다수 서식하는 것으로 알려진 지점이며 현재까지도 쏘가리 낚시가 성행하는 지점이다. 서식처 특성 조사 결과 수심 2.5 m 정도이며 하상은 자갈이 깔린 곳으로 기존의 연구 결과와 유사하게 나타났다 (Kim and Park, 2002). 하지만 현재 보 건설로 인해 비교적 유속이 느려져 퇴적이 진행 중인 상태이며 더욱 진행된다면 소실될 우려가 있다. 따라서 본 서식처를 보호하기 위해서는 세종보에서 일정량의 방류량을 유지시켜 보 하류의 유속을 조성해줄 필요가 있을 것으로 판단된다.

총 7개월간의 연구기간 동안 Tag을 삽입한 뒤 방류한 15개체의 쏘가리 중 어도를 이용하여 보 상류로 소상한 개체는 확인할 수 없었다 (Fig. 2). 물론 방류한 15개체 중 4개체는 공주보에 설치된 어도의 출구부에서 채집한 것이기 때문에 쏘가리가 어도를 이용할 수 있는 것으로 확인되었다. 하지만 Ss 1번 개체의 경우 산란기 이동시 세종보를 통과하려는 시도를 하였지만 실패하였고 다시 하류로 이동하였다 (Fig. 2A). 미국 콜롬비아 강의 경우 다수의 댐이 건설됨에 따라 서식처 변형, 산란장 감소 등의 문제가 복합적으로 작용하여 개체군의 크기가 극적으로 감소한 사례가 있다 (Petrosky *et al.*, 2001). 따라서 댐과 보와 같이 하천을 횡으로 구분하는 구조물의 경우 어종의 산란 이동을 막기 때문에 어도의 역할이 중요하다고 할 수 있다. 쏘가리 또한 산란기에 상류로 소상하는 것으로 확인되었는

데 보 건설로 인해 향후 쏘가리 개체군에 부정적인 영향을 미칠 가능성이 있을 것으로 보이며, 어도의 효율성을 높이기 위한 연구 또한 매우 중요할 것으로 보인다.

적 요

쏘가리는 국내 주요 경제성 어종이며 방류 및 복원사업의 대상 어종 중 하나이다. 본 연구는 금강의 보 설치구간에서 쏘가리의 이동 특성 및 서식처 범위 등을 평가하기 위해 Radio telemetry를 이용하여 연구를 실시하였다. 연구 결과 산란기에 방류한 개체들의 경우 방류 즉시 상류로 10 km 이상 소상하였지만, 비 산란기에 방류한 개체들은 2개체를 제외한 모든 개체들이 방류 지점으로부터 400 m 이내에서 정착하였다 (Ss11, 3.2 km; Ss 15, 1.4 km). 산란기에 상류로 소상한 개체들이 정착한 지점의 서식처 특성은 기존에 알려진 쏘가리의 산란장 특성과 유사하게 나타났으며, 현재 퇴적이 진행되고 있는 상태였다. 쏘가리가 감지는 수변부에서 높은 비율로 나타났으며, 이는 수변부에 큰 돌이 많이 분포하는 것, 쏘가리가 주로 돌 틈에 숨어서 서식하는 특성과 관련이 있는 것으로 판단된다. 쏘가리의 개체 특성과 이동거리와의 상관관계 분석 결과 무게와 비대지수가 이동거리와 양의 상관관계를 보였으며 성별과 크기는 이동거리와 관련이 없는 것으로 나타났다. 일주기 이동 범위 분석 결과 214.94 m²~3,257.19 m²로 나타났으며 주로 수변부에 국한되어 있는 것으로 확인되었다. 이와 같은 결과는 쏘가리 방류사업, 혹은 복원에 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 국립환경과학원의 조사연구사업(하천 및 정수환경에서 담수어의 이동특성 연구)의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Banks, J.W. 1969. A review of the literature on the upstream migration of adult salmonids. *Journal of Fish Biology* 1(2): 85-136.
- Barry, W.M. 1990. Fishways for Queensland coastal streams: an urgent review. International Symposium on Fishways.

- Gifu.
- Farquhar, B.W. and S. Gutreuter. 1989. Distribution and migration of adult striped bass in Lake Whitney, Texas. *Transactions of American Fisheries Society* **118**(5): 523-532.
- Froese, R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology* **22**(4): 241-253.
- Hardy, J.D. 1978. Development of fishes in the Mid-Atlantic bight, an atlas of egg, larval, and juvenile stages, Vol. III. Aphredoderidae through Rachycentridae. U.S. Fish and Wildlife Service, Solomons, Maryland.
- Kang, K.M. and H.O. Shin. 2010. Movement range and behavior of mandarin fish (*Siniperca scherzeri*) and catfish (*Parasilurus asotus*) in Chungju Lake. *Bulletin of the Korean Society of Fisheries Technology* **46**(2): 148-156.
- Kenward, R.E. 2001. A Manual for Wildlife Radio Tagging. Academic Press, London.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. Freshwater fishes of Korea. Kyo-Hak Publishing Co. Seoul.
- Kim, M.J. and Song C.B. 2011. Origin of the Korean Mandarin fish, *Siniperca scherzeri* and its molecular phylogenetic relationships to other siniperca fishes. *Korean Journal of Ichthyology* **23**(2): 95-105.
- Lee, J.H., S.K. Ku, K.D. Park and H.S. Lee. 2002. An immunohistochemical study on the endocrine cells in the gastrointestinal tract of the Mandarin fish (*Siniperca scherzeri*). *Korean Journal of Veterinary Research* **42**(3): 289-297.
- Lee, W.O., J.M. Baek, J.H. Lee, K.H. Kim, C.H. Kim and S.W. yoon. 2012. Sexual maturation and feeding habit of Korean mandarin fish, *Siniperca scherzeri* (Perciformes, Centropomidae) in the Seomjin River and Imjin River, Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* **26**(1): 57-66.
- Lucas, M.C. and E. Baras. 2001. Migration of freshwater fish. Blackwell Science. Oxford.
- Lucas, M.C., H.B. Damian, M.H. Jang, K. Ha and J.E.G. Masters. 2009. Availability of and access to critical habitats in regulated rivers: effects of low-head barriers on threatened lampreys. *Freshwater Biology* **54**(3): 621-634.
- Mallen-Cooper, M. and J. Harris. 1990. Fishways in mainland South-Eastern Australia. pp. 221-230. *In: Proceedings of the International Symposium on Fishways*. Gifu.
- Park, S.B., S.W. Nho, H.B. Jang, I.S. Cha, Y.R. Kim, M.A. Ha, S.C. Kang, J.H. Kim and T.S. Jung. 2010. Occurrence of atypical *Aeromonas Salmonicida* in Mandarin fish (SSOGARI: Korean name) *Siniperca scherzeri*. *Journal of Veterinary Clinics* **27**(3): 289-294.
- Petrosky, C.E., H.A. Schaller and P. Budy. 2001. Productivity and survival rate trends in the freshwater spawning and rearing stage of Snake River chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **58**(6): 1196-1207.
- Priede, I.G. and S.M. Swift. 1992. Wildlife telemetry: Remote monitoring and tracking of animals. Ellis Horwood. Chichester.
- Raney, E.C. 1952. The life history of the striped bass, *Roccus saxatilis* (Walbaum), in southeastern United States. *Journal of Wildlife Management* **19**: 444-450.
- Rose, S.T. 2001. The inland fishes of Mississippi. University of Mississippi. Jackson.
- Son, Y.M. and H.B. Song. 2006. Freshwater fishes of Geum River, Korea. Jisungsa. Seoul.
- 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**(9): 1261-1285.
- Sublette, J.E., M.D. Hatch and M. Sublette. 1990. The fishes of New Mexico. University of New Mexico Press. Albuquerque.
- Trefethen, P.S. 1956. Sonic equipment for tracking individual fish. Special scientific Report-Fisheries Number 179. U.S. Fish and Wildlife Service. Washington, DC.
- Winter, J. 1996. Advances in underwater biotelemetry. p. 555-590. *In: Fisheries Techniques*, 2nd. (Murphy, B.R. and D.W. Willis eds.). American Fisheries Society. Bethesda. Maryland.