

장흥댐에 설치되어 있는 어도와 담수어류의 이용 분석

윤주덕 · 김정희¹ · 주기재² · 서진원³ · Hubert Pak⁴ · 장민호^{1,*}

(부산대학교 환경기술산업개발연구센터,

¹공주대학교 생물교육과, ²부산대학교 생명과학과,

³Department of Biological & Agricultural Engineering, University of Idaho

⁴공주대학교 영어교육과)

Freshwater Fish Utilization of Fishway Installed in the Jangheung Dam. Yoon, Ju-Duk, Jeong-Hui Kim¹, Gea-Jae Joo², Jinwon Seo³, Hubert Pak⁴ and Min-Ho Jang^{1,*} (Institute of Environmental Technology and Industry, Pusan National University, Busan 609-735, Korea; ¹Department of Biology Education, Kongju National University, Gongju 314-701, Korea; ²Department of Biology, Pusan National University, Busan 609-735, Korea; ³Department of Biological & Agricultural Engineering, University of Idaho, Boise, ID, 83702, USA; ⁴Department of English Education, Kongju National University, Gongju 314-701, Korea)

At the Jangheung multipurpose dam, which is on the Tamjin River, a trapping and trucking operation was established to maintain continuous upstream migration of fish. To facilitate fish gathering, installation of an effective fishing trap was required. In this study, we evaluated the fish trap, established at the Jangheung dam, using PIT (Passive Integrated Transponder) telemetry. A total of 254 individuals from 15 species were monitored. Among these tagged species, 36 individuals from 6 species (*Carassius auratus*, *C. cuvieri*, *Zacco temminckii*, *Z. platypus*, *Pungtungia herzi*, and *Pseudobagrus koreanus*) were detected; a 14.2% detection rate. *C. auratus* recorded the highest detection rate of 44.2% while *P. herzi* was 14.3%. *Z. temminckii* and *Z. platypus* showed relatively low detection, 5% and 7.7% respectively. Some of individuals from *C. auratus* and *Z. platypus* did not pass through the antenna at the first attempt but were continuously detected on multiple days. There were no statistical differences in body size (total length, standard length and body weight) of individuals that did or did not swim into the trap (Mann-Whitney U test, $p > 0.05$). Fish mainly swam into the trap during outflow of water from the dam (Mann-Whitney U test, $p < 0.001$) and showed a higher detection frequency in daytime than nighttime (Mann-Whitney U test, $p < 0.001$). Thus, for fish movement into the trap, external factors such as outflow from dam and time of day have important roles. Based on detection rate, not all fishes showed upstream migration but represented selective migration. Consequently, the establishment of flexible outflow strategies that take into consideration ecological characteristics of fishes should required for improving the efficiency of fishway.

Key words : fishway, PIT telemetry, utilization rate, outflow, ecological characteristics

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

서 론

최근 국가들 간의 자원경쟁이 심해지고 화석 연료의 부족이 현실화되면서 오염도가 없고 지속적으로 사용 가능한 태양열, 수력, 풍력과 같은 천연에너지자원 대체에 대한 관심이 높아지고 있다. 수자원의 경우 천연자원이며 클린 에너지로 가치가 높아지면서 이러한 수자원의 효율적인 확보 및 관리에 관심이 높아지고 있다. 그러나 수자원 활용을 위한 다목적 댐과 보 등의 지속적 건설로 인하여 (Allan and Flecker, 1993; Thomas, 1996; Lemly *et al.*, 2000), 전반적인 하천의 특성변화가 초래되고 있으며 (Gray, 1992) 결과적으로 기존에 형성되어 있던 생태계의 변화가 발생하고 있다 (Kinsolving and Bain, 1993).

하천에 서식하는 최상위 소비자 중 하나인 담수어류에 (Moyle and Cech, 2002) 있어서, 하천내 구조물은 어류에 있어서 어류의 이동 (Nicola *et al.*, 1996; Joy and Death, 2001)과 군집의 변화 (Bain and Finn, 1988; Martinez *et al.*, 1994; Gehrke *et al.*, 2002; Quinn and Kwak, 2003; Habit *et al.*, 2007), 유전적 단절 (Yamamoto *et al.*, 2004; Heggenes and Røed, 2006), 서식처 변화 (Poff *et al.*, 1997; Poff and Hart, 2002)와 같은 다양한 문제를 유발한다. 특히, 특정한 시기에 산란을 위하여 하천의 유로를 따라 상류로 이동하고 혹은 하류로 이동하는 회유성 어류들에게는 심각한 문제를 유발한다. 따라서 이러한 문제들을 해결하기 위하여 하천 내 인공구조물 건설시 어도의 건설이 필수적으로 적용되어 어류의 이동을 원활하게 하고 있다 (Clay, 1995). 특히 큰 하천에 건설되는 대규모의 댐에서는 주변환경 여건상 일반 어도 형태가 아닌 엘리베이터식 어도가 적용되기도 하는데, 소상하려는 어류가 어도의 입구로 잘 유인되는 것이 중요하다. 따라서 어도 이용효율을 증대시키기 위해서는 소상을 위해 이동하는 물고기를 유인하기 위한 효율적인 어도 입구의 건설이 필요하다 (Bunt, 2001).

어류의 이동을 정량적으로 평가하기 위해서는 단순하게 어도 내로 유입된 어류의 채집을 통한 개체수 및 중수 위주의 연구는 기초적인 자료의 제시에 있어서는 중요한 역할을 하지만 얼마나 많은 개체가 어느 시간대에 어도를 이용하는지와 같은 정확한 자료를 얻기에는 어려움이 존재한다. PIT (passive Integrated transponders) tag은 외부 안테나로부터 전기신호를 받아 고유번호를 안테나가 인식하게 되는 시스템으로 (Morhardt *et al.*, 2000) 식별거리가 1 m 내외로 비교적 짧지만 이러한 특성으로 인하여 하천내 구조물에서 어류의 이동을 평가하

는 연구에 효과적 (Lucas and Baras, 2001)이며 따라서 다수의 연구에 적용되고 있다 (Castro-Santos *et al.*, 1996; Aarestrup *et al.*, 2003). 본 연구에서는 장흥댐에 설치되어 있는 trapping and trucking type의 어도를 어류가 얼마나 이용하는지 PIT telemetry를 이용하여 분석하였다. 또한 어류를 유인하기 위하여 장흥댐에서 방류하는 방류수와 어류 감지와와의 연관성을 파악하여 어떠한 방식의 유인수 운영이 효과적인지 분석하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

장흥댐은 한국의 남해로 유입되는 하천인 탐진강 유역 홍수피해 경감과 전남 서남부 해안지역 일원의 안정적인 생, 공용수 공급, 청정수력에너지 생산을 위하여 전남 장흥군 부산면 지천리와 유치면 대리에 걸쳐 건설된 다목적 댐으로 2006년 6월에 준공되었다 (Fig. 1). 장흥댐은 높이 53 m와 길이 403 m의 콘크리트 표면차수벽형 석괴댐으로 3개의 주수문과 발전방류를 위한 소수력 발전소가 함께 건설되어 있으며, 어도의 위치는 소수력 발전소의 출구부근에 인접하고 있다. 어도는 trapping and trucking type으로 트랩에 포획된 어류를 차량을 이용하여 댐 상류지역으로 이동시키는 방식이다. 어도는 소수력 발전소와 인접하고 있었으며 상류로 이동하기를 원하는 어류를

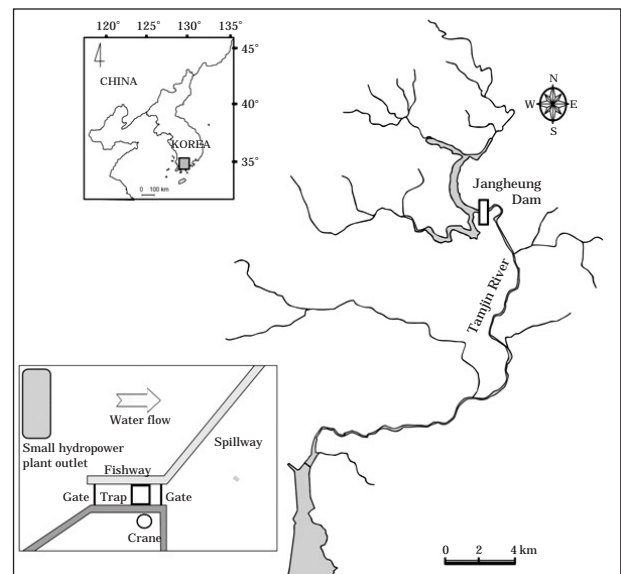


Fig. 1. A map of the study site and structure of the fishway installed at the Jangheung Dam.

포집하기 위하여 소수력 발전소를 통과하여 하류로 내려 오는 방류수를 유인수로 이용하고 있다. 어도는 방류수가 내려가는 월류보와 차별을 주기 위하여 콘크리트 구조물로 구분되어 있고 어도 내 트랩은 가로, 세로, 높이 각각 1.5 m 크기에 상부는 망목 5 mm의 망 형태로, 하부는 2 mm의 스테인레스 판으로 구성되었다. 또한 어도를 통과하는 유인수의 양을 조절하기 위하여 방류수가 유입되는 입구지점에 조절문을 설치하여 유량 및 유속을 조절하고 있다. 어도와 인접하고 있는 월류보는 사선으로 12 m 내외의 유인수제로서 하류로부터 소상하는 어류들을 어도 방향으로 유도시키도록 설치되었다 (Fig. 1). 발전방류의 시기는 상시방류가 아니라 상황에 따라 다르게 조절되었고, 방류량 또한 유사한 방식으로 조절되었다. 조사기간 동안 댐의 시간당 평균 발전방류량은 $1.46 \pm 0.26 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 이었고, 어도는 1일 1~2회 정기적으로 운영되고 있었다.

2. 어도 모니터링

어도 트랩 효율평가를 위한 어류의 채집은 트랩 하류 100 m 지역에서 투망과 정치망을 이용하여 시행되었다. 어류의 채집은 2009년 4월 11~24일의 기간 동안 4차례에 걸쳐 시행되었으며 총 15종 254개체의 어류에 표지 (tagging)가 실시되었다. 표지종은 채집지역에서 채집된

어류 중 출현비율이 높은 종을 주 대상으로 하였고 이외의 종들도 소수 표지를 실시하여 이동을 모니터링하였다. 모니터링은 4월말부터 5월말까지 한 달간 집중적으로 시행되었다. 각 종별 tag 삽입 개체수는 갈겨니가 80개체로 가장 많았고 피라미, 돌고기, 붕어가 각각 52, 49, 43개체였다. 이외의 종들은 대부분 10개체 이하의 개체가 연구에 사용되었다 (Table 1). 표지에 사용된 tag는 biomark사의 제품 (길이 11.0 mm, 직경 2.1 mm, 무게 약 0.088 g (in water))을 이용하였다. 각 실험 대상어류 중 tag의 무게가 체중의 2~5%를 넘지 않는 범위에 포함되는 어류들만 대상으로 이용되었다. 각 tag의 고유번호는 어류 체내 삽입 전 작동유무를 파악하기 위하여 휴대용 수신기 (MPRHS5900L, Digital Angel, USA)를 이용하여 확인하였다. Tag의 삽입은 외과적 수술과정을 통해 이루어졌다. Tag 삽입 대상 개체들은 Ethyl 3-aminobenzoate methanesulfonate salt (Sigma-Aldrich, Germany)를 이용하여 마취 후, 메스를 이용하여 복부에 3~4 mm 길이로 배를 가른 후, tag를 삽입하였다. 이후, 생체용 접합제 (Vetbond, 3M, USA)를 이용하여 절개 부분을 봉합하였다. 이후 회복을 위해 마련해둔 tank에서 어류의 회복이 확인되면 채집된 현장에 방류하였다.

표지된 개체의 감지를 위해서 어도의 입구에 Rectan-

Table 1. Detection rates and body sizes of PIT tagged fish used to identify utilization rate of fishway (SD, standard deviation).

Scientific name	Number of tagged individuals	Body size (mean \pm SD)			Number of detected individuals (%)
		Total length (mm)	Standard length (mm)	Body weight (g)	
Cyprinidae					
<i>Carassius auratus</i>	43	143 \pm 11.9	115 \pm 10.9	42 \pm 10.5	19 (44.2)
<i>Carassius cuvieri</i>	2	165	135	61 \pm 4	1 (50)
<i>Pseudorasbora parva</i>	4	104 \pm 32.8	87.5 \pm 30.1	13.25 \pm 14.9	0 (0)
<i>Pungtungia herzi</i>	49	96 \pm 13.2	82 \pm 11.6	10 \pm 5.5	7 (14.3)
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>	1	110	95	16	0 (0)
<i>Hemibarbus longirostris</i>	10	147 \pm 20	124 \pm 16.8	28.5 \pm 10	0 (0)
<i>Pseudogobio esocinus</i>	2	155	131 \pm 1	31 \pm 0.5	0 (0)
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	1	80	69	7	0 (0)
<i>Zacco temminckii</i>	80	140 \pm 28.9	119 \pm 25.7	30 \pm 20.3	4 (5)
<i>Zacco platypus</i>	52	128 \pm 18.6	107 \pm 15.8	18 \pm 9.1	4 (7.7)
<i>Hemicultur eigenmanni</i>	4	121 \pm 3.0	101 \pm 3.3	8 \pm 0.8	0 (0)
Bagridae					
<i>Pseudobagrus koreanus</i>	1	85	77	7	1 (100)
Centropomidae					
<i>Coreoperca kawamebari</i>	1	105	90	24	0 (0)
Odontobutidae					
<i>Odontobutis platycephala</i>	2	155 \pm 33.5	96 \pm 6	22 \pm 2	0 (0)
<i>Odontobutis interrupta</i>	2	115 \pm 9.5	95 \pm 7	21 \pm 7.5	0 (0)
Total	254				36 (14.2)

gular waterproof pass-through antenna (길이 80 cm, 높이 30.5 cm, Biomark, USA)를 설치하였다. 어도의 입구가 넓어 감지가 되지 않는 문제를 해결하기 위하여 screen (길이 1.5 m, 높이 1.1 m)을 설치, 어류가 antenna를 통과 하여야만 어도내로 들어갈 수 있도록 유도하였다. 감별된 신호는 수변에 설치되어 있는 FS2001F-ISO Reader (Biomark, USA)로 전송되어 자동으로 저장되었다.

3. 자료분석

자료분석에 사용된 모든 감지 자료는 시간대별로 나누어 자료를 정리하였으며, 동일 시간대에 중복 감지된 자료의 경우 최초 감지자료를 분석에 사용하였다. 표지한 개체들 중 어도에서 감지된 개체들이 어느 시간대에 더 많이 어도로 이동하는지 파악하기 위하여 오전 6시와 오후 6시를 기준으로 하여 주야간으로 나누어 비모수통계 방식인 Mann-Whitney U test 분석을 실시하였다. 어도내로 이동한 개체들과 이동하지 않을 개체들 사이의 크기의 차이를 파악하기 위해서도 Mann-Whitney U test를 실시하였다. 또한 방류량과 감지 횟수와의 연관성을 Spearman 상관분석을 시행하여 분석하였다. 분석에 사용된 자료는 동일한 시간에 중복으로 이루어진 감지를 제외한 자료를 이용하였다. 본 연구에서 실시된 모든 분석은 SPSS 18.0 (SPSS Inc., USA)를 이용하여 시행되었다.

결 과

연구를 위하여 표지 후 방류된 어류 중 모니터링 기간 동안 어도에서는 총 425번의 감지가 발생하였고, 동일한 시간에 중복으로 감지된 자료를 제외하고 나면 총 177번의 신호가 어도에 설치된 안테나에 감지되었다. 감지된 어류는 붕어, 떡붕어, 돌고기, 갈겨니, 피라미, 눈동자개 6종 36개체 (14.2%)였다. 이들 중 중 가장 많은 개체가 감지된 붕어는 총 43개체 중 19개체가 어도에 설치되어 있는 안테나에 감지되어 44.2%의 비율을 보였다. 또한 총

49개체가 표지된 돌고기는 7개체가 어도에서 감지되어 14.3%의 비율을 보였고, 가장 많은 수가 표지에 이용된 갈겨니 (80개체)와 피라미 (52개체)는 4개체만이 감지되어 각각 5%와 7.7%의 비율을 나타냈다. 이외에 감지된 개체인 떡붕어와 눈동자개는 매우 적은 수인 1개체씩 감지되었지만 표지된 개체수가 적었기 때문에 비율은 높게 나타났다. 이들 6종 외의 9종은 모니터링 기간 동안 어도 내에서 감지되지 않았다 (Table 1). 일부 표지개체 (피라미 1개체, 붕어, 10개체)의 경우, 한번에 어도내로 이동하지 않고 장기간에 걸쳐 꾸준히 신호가 감지되었다. 피라미의 경우, 조사기간 동안 각기 다른 날짜에 4회 감지되었고, 붕어는 2회에서 12회에 이르기까지 지속적으로 감지된 개체들이 다수 나타났다.

안테나에 감지된 6종의 어류 중 4개체 이상 출현한 종을 대상으로 하여 어도에서 감지된 개체와 그렇지 않은 개체를 대상으로 한 평균 크기에는 차이가 없는 것으로 나타났다 (Mann-Whitney U test, p>0.05). 붕어와 돌고기의 경우 두 집단 사이에 평균 전장과 체장, 체중은 유사하게 나타났다. 갈겨니의 경우 어도에서 감지된 개체의 크기가 약간 작은 것으로 나타났지만 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 반면 피라미는 어도 내에서 감지

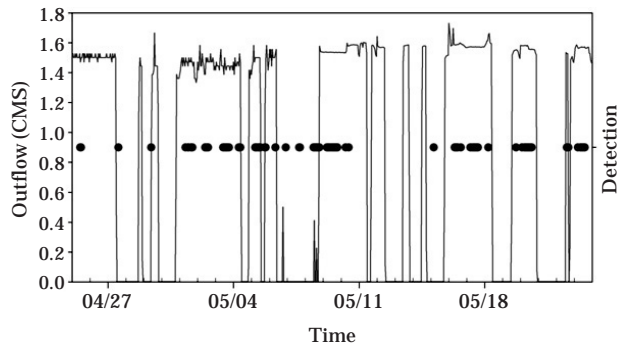


Fig. 2. Outflow of the dam and PIT tag signal detection during study periods. Solid circle means signal detection at given time. Most of the detections were recorded during outflow.

Table 2. Mean body sizes of four fish mainly detected at antenna. There were no significant differences body sizes between detected and not detected (SD, standard deviation).

Scientific name	Detected (mean ± SD)				Not detected (mean ± SD)			
	Total length (mm)	Standard length (mm)	Body weight (g)	N	Total length (mm)	Standard length (mm)	Body weight (g)	N
<i>Carassius auratus</i>	143 ± 9.2	116 ± 7.9	43 ± 7.5	19	143 ± 13.6	115 ± 12.8	42 ± 12.4	24
<i>Pungtungia herzi</i>	96 ± 6.8	82 ± 6.0	9 ± 2.0	7	96 ± 14.2	82 ± 12.5	10 ± 5.9	42
<i>Zacco temminckii</i>	125 ± 31.9	105 ± 29.0	24 ± 20.2	4	141 ± 28.5	119 ± 25.4	30 ± 20.2	76
<i>Zacco platypus</i>	147 ± 16.8	123 ± 13.2	26 ± 8.2	4	126 ± 17.7	106 ± 15.2	17 ± 8.9	48

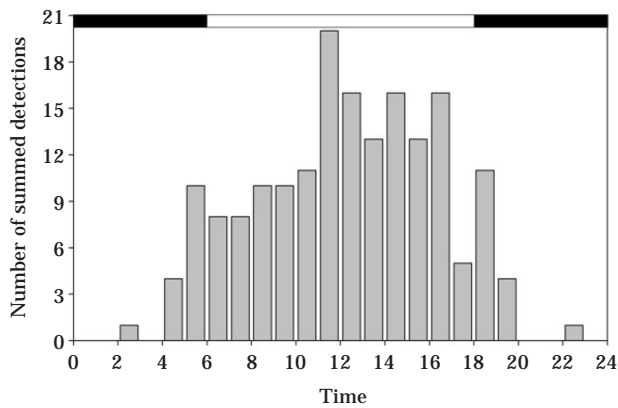


Fig. 3. The number of summed detections for every hour during the study period. The black and white bar at the top of graph indicates nighttime (18~06) and daytime (06~18), respectively.

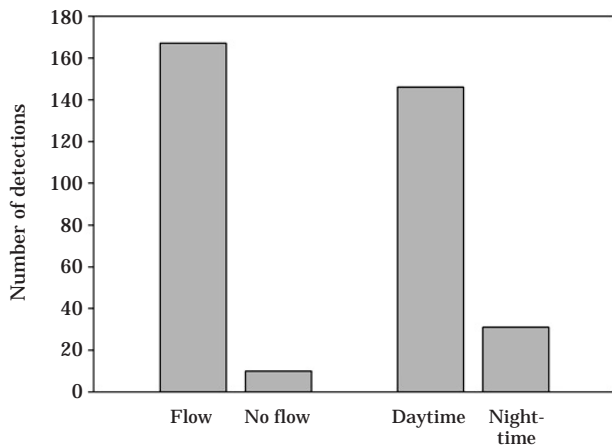


Fig. 4. Total number of detections by flow and times.

된 개체가 큰 것으로 나타났지만, 통계적인 차이는 없었다 (Table 2).

댐의 발전방류는 주간과 야간에 따른 차이 없이 운영되고 있었다 (Mann-Whitney U test, $p > 0.05$). 어도에 설치되어 있는 안테나에 감지된 자료와 댐의 발전방류의 연관성을 분석한 결과 방류가 이루어지는 기간 동안 대부분이 감지된 것으로 나타났다 (Mann-Whitney U test, $p < 0.001$, Fig. 2). 또한 가장 많은 감지결과를 보이는 붕어와 다른 종들을 구분하여 시행한 분석의 결과에서도 방류가 이루어질 때 감지의 빈도가 높아졌다 (Mann-Whitney U test, $p < 0.05$). 상대적으로 방류가 이루어지지 않는 시점에서는 감지빈도가 낮게 나타났다 (Fig. 4). 또한 Spearman 상관분석 결과 $r = 0.241$ ($p < 0.01$)로 신호 감지와 댐의 시간당 방류량이 양의 상관관계를 보였다.

시간대별 분석에서는 주로 야간 시간대보다 주간 시간대에서 더 높은 감지빈도를 보였다 (Mann-Whitney U test, $p < 0.001$, Figs. 3, 4). 신호의 감지를 시간대에 따라 누적으로 나열한 결과, 가장 높은 누적 출현양상을 보인 시간대는 11시에서 17시 사이였고, 야간 시간대에 포함되는 시간 중 일부 시간대인 05시나 19시에는 주간 시간대와 비슷한 누적 출현양상을 보였다. 하지만 이외의 시간대에서는 일부 약간의 (4회 이하) 누적 감지를 보이는 시간대도 있었지만 대부분의 시간대에서 어류의 감지는 확인되지 않았다 (Fig. 4).

고 찰

본 연구가 시행된 시기는 4월에서 5월로 많은 종류의 담수어류들이 산란을 시작하는 시기였다. 종별로 산란기에 특성이 다르게 나타나지만 대부분의 종들이 산란을 위하여 적절한 산란장을 찾아 이동하는 패턴을 보인다 (Lucas and Baras, 2001). 연구에 사용된 종별 개체들이 대부분 산란에 참여할 수 있는 크기를 대상으로 하였기 때문에 이러한 시기적인 측면도 어류의 감지에 영향을 준 것으로 사료되었다. 특히 가장 많은 수의 어류가 감지된 붕어의 경우 수온이 18도 정도되는 5월경이 산란이 가장 왕성한 시기로 (Kim and Park, 2002) 산란을 위해 산란장으로 이동하기 위한 개체들로 인해 어도에서 많은 수가 감지된 것으로 판단되었다. 수온측정기를 이용하여 수온자료가 확보된 2010년 4~5월의 수온결과에 의하면 방류시 어도에서 측정되는 수온(약 14도)과 약 400m 하류 지역에 위치한 심천보(약 17도)는 약 3~4도 정도의 수온차이를 보였다 (Yoon unpublished data). 이는 댐방류가 이루어지는 수층이 대기온도나 태양광에 의하여 영향을 받는 표층이 아닌 중, 저층 방류에 의한 결과로 판단되며 이는 연구가 시행된 2009년도에도 유사하였을 것으로 사료되었다. 유인수의 수온이 적정 수온보다 3도가량 낮음에도 불구하고 붕어가 이동하는 데에는 하류층에 형성되어 있는 산란적정 수온에 의한 영향으로 판단되었다.

일부 붕어 개체의 경우 한번에 트랩으로 이동하지 않고 길게는 12일까지 어도 입구에 설치된 안테나에서 신호가 감지된 것으로 보아 산란시기에 지속적으로 상류로 이동하려는 경향을 보였지만 개체별 차이로 인하여 어도 트랩 내부로 유입되는 데 시간이 더욱 걸렸던 것으로 사료된다. 상대적으로 붕어를 제외한 다른 종들은 어도에서 감지되는 비율이 낮게 나타났다. 피라미나 갈겨니, 돌고

기와 같은 종들은 어도 하류부에 충분한 서식지와 산란장이 확보되기 때문에 많은 개체들이 곧이 상류로 이동할 필요성을 느끼지 못했거나 이동시기가 달랐을 가능성도 존재한다. 그럼에도 불구하고 일부 개체들은 지속적으로 상류로 이동하는 것으로 확인되었다 (Seo, 2010). 결과적으로 댐하류에 서식하고 있는 모든 종의 모든 개체가 상류로 이동을 하는 것이 아닌 일부 개체들이 선택적 혹은 임의적으로 이동하는 것으로 판단되었고, 이동시기를 결정하는 데는 각 종별 생태적 특성인 산란기나 섭식, 서식처와 같은 요소들이 주요한 역할을 하는 것으로 사료되었다. 하지만 이와 같은 내용을 정확히 밝히기 위해서는 다른 연구방식의 적용을 통한 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

어도를 운영하는 데 있어서 유인수의 역할은 크다 (Clay, 1995). 또한 유인수를 얼마만큼 잘 활용하는지는 결과적으로 어류를 효과적으로 유인하는 데 큰 역할을 한다. 본 연구가 진행된 장흥댐에서는 유인수를 흘려주는 시점이 발전방류를 하는 시점과 동일하였다. 따라서 댐의 발전방류는 어류의 이동에 큰 영향을 주고 있었다. 일부의 경우를 제외하고 대부분의 감지 결과가 방류가 이루어지고 있는 시점에서 발생하였다. 지속적으로 방류수를 흘려줌으로써 이를 감지한 개체들이 방류구 인근으로 이동하게 되는 과정에서 자연스럽게 어도내로 유입되고 있었다. 본 연구에서는 댐의 방류량과 신호의 감지가 양의 상관관계를 보였지만 어류 이동시기에는 적정방류량을 설정하여 앞선 결과와 같이 주 이동시기에 댐 방류를 시행한다면 어류의 이동에 도움이 될 것으로 판단된다. 만약 방류하는 유량이 지나치게 많게 되면 어류가 유속을 견딜 수 없게 되면서 오히려 어도내로 이동할 수 있는 확률이 낮아지게 된다 (Barry and Kynard, 1986). 현재 장흥댐 어도내에서는 뱀장어 유어와 같이 유영능력이 뛰어나지 않은 어류들도 출현하고 있다. 따라서 서식어류들의 주요 산란기나 이동시기에 적절한 방류량을 조절한다면 더욱 많은 종과 개체들이 효율적으로 어도를 이용할 것으로 사료된다.

어도의 건설시 어류 생태적인 측면 (유영능력, 활동시기 등)은 고려해야 될 가장 중요한 요소중 하나이다 (Clay, 1995). 본 연구에서 어도로 이동한 개체의 대부분은 주행성의 특성을 나타내고 있었다. 기존 야행성으로 알려져 있는 눈동자개는 야간에 어도로 이동하였고, 나머지 붕어, 피라미, 갈겨니, 돌고기 등의 어류는 대부분 주행성 행동을 보였다. 이들 종의 경우 야간에 방류가 이루어지더라도 어도로 이동하는 경우는 매우 드물게 나타났고, 대부분이 주간에 방류가 이루어지는 시간대에 어도로 이동하였다. 장흥댐의 경우 어도의 운영을 위한 유인수의 방

류가 발전방류와 밀접하게 관련을 보인다. 상시방류가 이루어지지 않을 경우도 많기 때문에 지속적으로 어도 인근에 위치하지 않는 개체들의 경우 만약 방류시간이 짧거나 선호하는 시간대와 다를 때 이동에 제약이 생길 가능성이 높다. 따라서 방류량과 더불어 방류시간, 방류시간대를 적절하게 변화시키는 전략적 방류가 필요하고, 이러한 방류가 어도의 효율성을 높여줄 것으로 사료된다.

본 연구에서 파악된 어류의 어도 이용률은 14.2%로 높지 않게 나타났다. 하지만 실제 어도 모니터링 결과에 의하면 표지한 개체 이외에 많은 개체들이 트랩에서 확인되었다 (Seo, 2010). 전반적으로 연구기간이 길지 않았던 것과 또한 각 종별 생태적인 특성 그리고 어도 운영 등의 문제가 복합적으로 작용한 것으로 판단되었다. 실제로 외국 사례의 경우에도 본 연구와 같이 mark and recapture 연구의 경우 방식이 다르지만 경우에 따라 recapture rate는 매우 낮게 나타났다 (Albanese et al., 2003; Penczak, 2006). 실제로 표지 개체들은 현지에서 서식하고 있는 전체 개체수에 비하면 매우 적은 숫자에 불과하기 때문에 일부 표본을 연구한 사례에 불과하다. 따라서 연구 결과의 신뢰성을 높이기 위해서는 보다 많은 개체를 대상으로 한 tag의 적용이 필요로 하겠다. 또한 유속, 수온 등을 고려한 장기적인 (최소 1년) 모니터링을 실시할 필요성이 존재한다. 본 연구의 모니터링 기간이 길지 않았기 때문에 장흥댐의 어도의 효율성에 대한 내용을 전반적으로 밝히기에는 어려움이 있었다. 그럼에도 불구하고 어도의 관리에 있어서 중요하게 이용될 수 있는 자료의 도출이 가능했다. 결과적으로 연구의 기간이나 진행이 단기가 아닌 장기적인 연구가 시행된다면 보다 나은 자료나 정보를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 최근 국내에서는 수자원의 효율적인 관리를 위하여 대형 댐과 보가 지속적으로 건설되고 있다. 이와 관련하여 본 장흥댐에 설치되어 있는 어도와 유사한 방식의 구조물이 지속적으로 건설될 가능성이 있다. 따라서 본 장흥댐 어도의 어도 관리시스템을 안정적으로 보완, 구축하면 향후 건설되는 다른 지역의 어도에도 효과적으로 적용이 가능할 것으로 판단된다.

적 요

댐이나 보와 같은 하천내 구조물의 건설시 어도의 설치는 어류의 이동에 있어서 중요한 역할을 한다. 탐진강에 건설되어 있는 장흥 다목적댐에는 어류의 상류로 이동을 원활히 하기 위해 엘리베이터식 어도에 포함되는 트럭식

댐체어도가 방류구 옆쪽에 위치하고 있다. 이러한 종류의 어도는 효율적으로 어류를 포집하기 위한 트랩이 함께 설치된다. 본 연구에서는 장흥댐에 설치되어 있는 어도 트랩의 어류 이용정도를 파악하기 위하여 PIT telemetry 방식을 적용, 총 15종 254개체의 어류에 tag를 삽입하여 모니터링을 하였다. 붕어, 떡붕어, 돌고기, 갈겨니, 피라미, 눈동자개 6종 36개체가 감지되어 14.2%의 감지율을 나타냈다. 붕어가 43개체 중 19개체가 감지되어 44.2%로 가장 높은 감지 비율을 보였고 돌고기는 14.3%의 비율을 나타냈으며, 갈겨니와 피라미는 각각 5%와 7.7%의 감지 비율을 나타냈다. 일부 개체들은 한번에 어도내로 이동하지 않고 장기간에 걸쳐 꾸준히 신호가 감지되었다. 이동한 개체들과 이동하지 않은 개체들 사이에 크기(전장, 체장, 체중)는 차이가 없었으며 (Mann-Whitney U test, $p > 0.05$), 주로 댐에서 방류가 이루어지는 시간에 트랩으로 이동하는 것으로 파악되었다 (Mann-Whitney U test, $p < 0.001$). 시간대별 분석에서는 주로 야간시간대보다 주간시간대에서 더 높은 감지빈도를 보였다 (Mann-Whitney U test, $p < 0.001$). 본 연구의 결과에 의하면, 어류가 트랩으로 이동하는 데는 방류시간과 같은 외적인 요소와 각종별 생태적 특성(산란기, 주행성, 야행성)이 중요한 역할을 하고 있었다. 따라서 어류의 어도 이용율을 높이기 위해서는 어류의 생태적 특성을 고려하여 방류량과 더불어 방류시간, 방류시간대를 적절하게 변화시키는 전략적 방류가 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부 Eco-STAR project (수생태복원사업단)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. Freshwater fish of Korea. Kyo-Hak Publishing, Seoul.
- Seo, J.W. 2010. Eco-friendly operation and management of Jangheung Dam with Fishway. *K-water TechZine* **5**: 80-89.
- Aarestrup, K., M.C. Lucas and J.A. Hansen. 2003. Efficiency of a nature-like bypass channel for sea trout (*Salmo trutta*) ascending a small Danish stream studied by PIT telemetry. *Ecology of Freshwater Fish* **12**: 160-168.
- Albanese, B., P.L. Angermeier and C. Gowan. 2003. Designing mark-recapture studies to reduce effects of distance weighting on movement distance distributions of stream fish. *Transactions of the American Fisheries Society* **132**: 925-939.
- Allan, J.D. and A.S. Flecker. 1993. Biodiversity conservation in running waters. *Bioscience* **43**: 32-43.
- Bain, M.B. and J.T. Finn. 1988. Streamflow regulation and fish community structure. *Ecology* **69**: 382-392.
- Barry, T. and B. Kynard. 1986. Attraction of adult American shad to fish lifts at Holyoke Dam, Connecticut River. *North American Journal of Fisheries Management* **6**: 233-241.
- Bunt, C.M. 2001. Fishway entrance modifications enhance fish attraction. *Fisheries Management and Ecology* **8**: 95-105.
- Castro-Santos, T., A. Haro and S. Walk. 1996. A passive integrated transponder (PIT) tag system for monitoring fishways. *Fisheries Research* **28**: 253-261.
- Clay, C.H. 1995. Design of Fishways and Other Fish Facilities. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Gehrke, P.C., D.M. Gilligan and M. Barwick. 2002. Changes in fish community of the Shoalhaven River 20 years after construction of Tallowa dam, Australia. *River Research and Application* **18**: 265-286.
- Gray, A. 1992. The Ecological Impact of Estuarine Barrages. British Ecological Society/Field Studies Council, Shrewsbury.
- Habit, E., M.C. Belk and O. Parra. 2007. Response of the riverine fish community to the construction and operation of a diversion hydropower plant in central Chile. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **17**: 37-49.
- Heggenes, J. and K.H. Røed. 2006. Do dams increase genetic diversity in brown trout (*Salmo trutta*)? Microgeographic differentiation in a fragmented river. *Ecology of Freshwater Fish* **15**: 366-375.
- Joy, M.K. and R.G. Death. 2001. Control of freshwater fish and crayfish community structure in Taranaki, New Zealand: dams, diadromy or habitat structure? *Freshwater Biology* **46**: 417-429.
- Kinsolving, A.D. and M.B. Bain. 1993. Fish assemblage recovery along a riverine disturbance gradient. *Ecological Application* **3**: 531-544.
- Lemly, A.D., R.T. Kingsford and J.R. Thompson. 2000. Irrigated agriculture and wildlife conservation: conflict on a global scale. *Environmental Management* **25**: 485-512.
- Lucas, M.C. and E. Baras. 2001. Migration of Freshwater Fishes. Blackwell Science, Oxford.
- Martinez, P.J., T.E. Chart, M.A. Trammell, J.G. Wullschlegler

- and E.P. Bergersen. 1994. Fish species composition before and after construction of a main stem reservoir on the White River, Colorado. *Environmental Biology of Fish* **40**: 227-239.
- Morhardt, J.E., D. Bisher, C.I. 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.
- Moyle, P.B. and J.J. Cech. 2000. Fishes: an Introduction to Ichthyology. 4th edition. Prentice Hall Inc., New Jersey.
- Nicola, G.G., B. Elvira and A. Almodovar. 1996. Dams and fish passage facilities in the large rivers of Spain: effects on migratory species. *Archiv für Hydrobiologie* **113**: 375-379.
- Penczak, T. 2006. Restricted-movement paradigm: fish displacements in a small lowland streamlet. *Polish Journal of Ecology* **54**: 145-149.
- Poff, N.L. and D.D. Hart. 2002. How dam vary and why it matters for the emerging science of dam removal. *Bio-science* **52**: 659-668.
- Poff, N.L., J.D. Allan, M.B. Bain, J.R. Karr, K.L. Prestegard, B.D. Richter, R.E. Sparks and J.C. Stromberg. 1997. The nature flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. *Bioscience* **47**: 769-784.
- Quinn, J.W. and T.J. Kwak. 2003. Fish assemblage changes in an Ozark River after impoundment: a long-term perspective. *Transactions of the American Fisheries Society* **132**: 110-119.
- Thomas, D.H.L. 1996. Dam construction and ecological change in the riparian forest of the Hadejia-Jama' are floodplain, Nigeria. *Land Degradation and Development* **7**: 279-295.
- Yamamoto, S., K. Morita, I. Koizumi and K. Maekawa. 2004. Genetic differentiation of white-spotted charr (*Salvelinus leucomaenis*) populations after habitat fragmentation: spatial-temporal changes in gene frequencies. *Conservation Genetics* **5**: 529-538.

(Manuscript received 23 July 2011,
Revised 16 September 2011
Revision accepted 20 September 2011)