

신규로 건설된 군위댐 호내 어류 군집 및 생태적 특성에 관한 연구

이진웅 · 윤주덕¹ · 김정희 · 박상현 · 백승호 · 장광현² · 장민호*

공주대학교 생물교육과, ¹공주대학교 생물자원연구센터, ²경희대학교 환경학 및 환경공학과

Study on Characteristics of Community and Ecology of Fishes in the Newly Constructed Gunwi Dam Reservoir. Lee, Jin-Woong, Ju-Duk Yoon¹, Jeong-Hui Kim, Sang-Hyeon Park, Seung-Ho Baek, Kwang-Hyeon Chang² and Min-Ho Jang* (Department of Biology Education, Kongju National University, Gongju 32588, Korea; ¹Biological Resource Research Center, Kongju National University, Gongju 32588, Korea; ²Department of Environmental Science and Environmental Engineering, Kyung Hee University, Yongin 17104, Korea)

Abstract To secure water resources, dams are normally constructed on the upper - middle part of streams, and it generates physical disturbances such as habitat alteration and stream fragmentation. Such construction can restrict movement of aquatic organisms, especially for freshwater fish which is one of top predator in aquatic ecosystem, and cause genetic fragmentation and community change. In this study, to investigate impact of habitat alteration after dam construction on freshwater fish, we monitored fish community changes, and compared fish fauna between dam reservoir and inflows. Additionally, movement characteristics and habitat boundaries of four species were identified by radio telemetry method. The study was conducted in the Gunwi Dam which was constructed in December 2010. Radio telemetry was applied to *Pungtungia herzi*, *Zacco platypus* (living lotic and lentic), *Silurus asotus* (lentic preferred species) and *Zacco koreanus* (lotic preferred species). The number of species was remarkably decreased (4 family, 10 species) comparing with before the dam construction (7 family, 15 species). Specifically, *Coreoleuciscus splendidus*, *Niwaella multifasciata*, *Liobagrus mediadiposalis*, *Coreoperca herzi* and *Odontobutis platycephala* that inhabit in the lotic environment were not collected in the study area. A total of 8 species were caught in both the dam reservoir and tributaries except 2 species (*C. auratus* and *S. asotus*). Sorenson's similarity between the reservoir and its tributaries was high (0.842). All of the radio tagged species stayed in the reservoir except *S. asotus* which moved to the tributary. These species mainly utilized the shallow littoral zone as a habitat. These results could be useful as a baseline data for efficient management of fishes in lakes.

Key words: fish fauna, habitat utilization, radio telemetry, dam reservoir

Manuscript received 4 September 2015, revised 3 November 2015,
revision accepted 24 November 2015

* Corresponding author: Tel: +82-41-850-8285, Fax: +82-41-850-8842,
E-mail: jangmino@kongju.ac.kr

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

서 론

수생생물이 서식하는 데 영향을 주는 교란 요인은 크게 하천을 가로지르는 인공 구조물 건설로 인한 물리적 교란요인(Fukushima *et al.*, 2007), 비료 및 농약, 산업폐수 등 오염물질의 유입으로 인한 화학적 교란요인(Kelly and Janz, 2008), 식량자원 또는 레포츠(leisure sports)를 위해 의도적 또는 비의도적으로 유입된 외래종으로 인한 생물학적 교란요인(Bernardo *et al.*, 2003; Lymbery *et al.*, 2010)으로 구분되어진다. 이런 교란요인들이 수생태계에 나타나는 규모는 각각 다르지만 해당지역에 서식하는 생물들에게 부정적인 영향을 미치는 것으로 보고되어 있다(Pires *et al.*, 1999; Jang *et al.*, 2002).

물리적 교란으로써 하천의 물을 활용하기 위해서 인공적으로 저수지를 만드는 댐 및 보의 건설은 주위에서 쉽게 확인할 수 있는 교란요인 중 하나이다. 국내에서는 수자원 관리의 목적으로 하천에 댐 및 보를 다수 건설하고 있으며, 그중 대댐 기준에 속하는 댐(높이 15 m 이상, 길이 2,000 m 이상, 저수용량 300만 m³ 이상)은 전국에 약 1,214 개소가 건설되어 있다(Kwater, 2000). 국내에서 댐은 농업용수 공급을 목적으로 건설된 소규모 관계용수댐이 91% 이상을 차지하고 있으며, 이외 생공용수댐(생활·공업용수댐), 수력발전댐, 다목적댐을 포함한다(Kwater, 2000). 다목적댐은 각종 용수 확보, 홍수 조절, 발전 등 여러 가지 목적을 위해 건설된 댐으로 국내의 경우 현재까지 총 18개소가 건설되었다. 국내 다목적댐의 총저수량 규모는 최소 군위댐(총저수량 48.7백만 m³)에서 최대 소양강댐(총저수량 2,900백만 m³)으로 다른 댐(관계용수댐, 생공용수댐, 수력발전댐)과 비교하여 규모가 크다. 또한 국내에서 다목적댐의 건설은 1965년 소양강댐 준공 이후 약 50년의 역사를 가지고 있으며, 최근에도 군위댐(2010년 준공), 영주댐(2015년 준공 예정), 성덕댐(2015년 준공 예정) 등이 건설되어 국내 하천에 댐 건설이 지속적으로 이루어지고 있음을 확인할 수 있다.

댐 건설은 하천 상·하류의 연결성을 단절하여 생물의 이동을 제한하고 유전적 단절을 야기하며, 또한 서식처의 형태를 유수환경(lotic)에서 정수환경(lentic)으로 변화시켜 기존 생물군집의 변화를 야기한다(Joy and Death, 2001; Poff and Hart, 2002; Liermann *et al.*, 2012). 이러한 환경변화는 특히 담수생태계 최상위 소비자인 담수어류에 크게 영향을 미치며(Heggenes and Røed, 2006; Agostinho *et al.*, 2008), 이는 다양한 방법을 통해서 연구되어 왔다. 초기에는 어류의 채집을 통해 어류군집을 확인하는 연구

가 주로 이루어졌다(Briggs, 1950; Wallis, 1951). 이후 모니터링 기술의 발달로 음향 원격측정(acoustic telemetry; Eklund and Schull, 2001; Stich *et al.*, 2014), 무선 원격측정(radio telemetry; Jacobsen *et al.*, 2002; Arnekleiv *et al.*, 2007; Caudill *et al.*, 2007)과 같은 원격측정법을 이용하여 어류의 이동 및 서식처 이용 특성을 확인하는 연구가 가능해졌다. 국내에서는 오래전부터 댐이 건설되었음에도 불구하고 대부분의 연구가 어류채집을 통해 이루어지는 어류군집 연구로 한정되어 있다(Nah and Shin, 1992; Kim and Yang, 2001; Kim *et al.*, 2002; Yang *et al.*, 2012). 최근 충주댐호에서 어류의 이동범위 연구(Kang and Shin, 2010) 및 Yoon *et al.*(2012)과 Kim *et al.*(2014)에 의해 장흥댐호를 대상으로 유수환경에서 서식하는 어종이 댐의 건설로 바뀐 정수환경에서 어떻게 이동하는지에 대한 연구가 이루어졌으며, 이외 댐호 내 어류의 이동 및 서식처 이용 특성에 관련된 연구는 전무하다. 어류의 군집 특성을 확인하는 것도 호 내 서식어류 관리에 있어서 중요하지만 어류의 이동 및 서식처 이용과 같은 생태적 특성을 함께 연구할 경우 대체서식처 제공, 산란장 마련, 적정 어도 건설, 어획 금지구역 설정 등 서식어류 관리의 측면에서 많은 도움이 된다. 따라서 댐호 내 어류군집과 더불어 서식어류의 생태적 특성을 복합적으로 연구할 필요성이 있다.

본 연구에서는 다목적댐으로 최근에 담수가 이루어진 군위댐호에서(2011년) 어류군집의 변화를 파악하고 호소와 유입지천의 어류군집을 비교하여 댐 건설이 어류에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 또한 댐호 내 우점적으로 출현한 어종을 대상으로 무선 원격측정법을 이용하여 댐호에서의 이동 및 서식영역과 같은 생태적 특성을 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

경상북도 군위군에 위치한 군위댐은 2004년 착공되어 2010년 준공된 콘크리트 표면차수벽형 석괴구조물이며 저수면적 87.5 km², 높이 50 m, 길이 340 m로 총 저수량이 48,700,000 m³인 다목적댐이다(한국수자원공사, <http://www.kwater.or.kr>). 군위댐은 경북 중부지역인 군위군, 의성군, 칠곡군에 생활용수, 공업용수, 농업용수를 안정적으로 공급하고 위천유역의 유량 조절을 통한 홍수피해 경감을 목적으로 건설되었다. 준공 이후 2011년에 담수가 완료되었으며 이로 인하여 댐호(군위호)가 형성되어 있다(Fig. 1). 군위댐의 주요 유입지천은 위천(st. 3)이며, 나머지 유

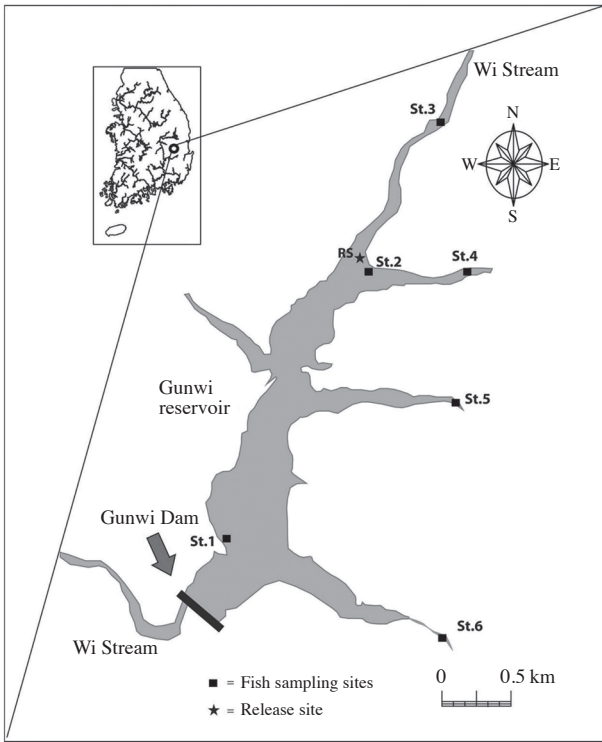


Fig. 1. The map of study sites.

Table 1. GPS (Global Positioning System) location of fish sampling site at the Gunwi Dam reservoir.

| Site | GPS | | Remark |
|-------|-------------|--------------|-----------|
| | Latitude | longitude | |
| St. 1 | 36°07'32.7" | 128°47'46.3" | Reservoir |
| St. 2 | 36°08'36.7" | 128°48'39.0" | Reservoir |
| St. 3 | 36°09'37.2" | 128°49'10.9" | Tributary |
| St. 4 | 36°08'36.5" | 128°49'12.9" | Tributary |
| St. 5 | 36°08'03.2" | 128°49'04.4" | Tributary |
| St. 6 | 36°07'05.7" | 128°48'48.7" | Tributary |

입지천의 경우 소규모 지천으로 구분된다. 그중 1개의 유입지천은 적은 유입유량으로 인해 동절기 건천 현상이 발생하여 조사가 이루어지지 않았다. 따라서 이를 제외한 3개의 소규모 유입지천(st. 4~6)과 주요 유입지천인 위천을 대상으로 조사를 실시하였다.

2. 어류채집

어류군집을 확인하기 위한 채집은 댐호 및 유입지천의 6지점을 대상으로 실시하였다(Table 1, Fig. 1). 2012년 11월부터 2014년 6월까지 계절별로 총 5회의 조사가 이루어

졌으며 지점특성에 따라 어구를 구분하여 사용하였다. 정수환경인 댐호(st. 1, st. 2)에서는 삼각망(망목, 5×5 mm; 유인어망 높이, 2 m; 유인어망 길이, 20 m)을 이용하였으며 지점별 24시간 정치하여 어류군집을 확인하였다. 유수환경인 유입지천(st. 3~6)에서는 투망(망목, 7×7 mm), 족대(망목, 4×4 mm)를 이용하여 최대한 자세하게 어류를 채집하였다. 채집한 어류는 현장에서 동정하여 전장(TL, total length)과 체중(TW, total weight)을 측정하였으며, 동정이 어려운 종은 10% 포르말린(formalin) 용액으로 고정한 후 실험실에서 분류 및 동정하였다. 동정은 Kim and Park (2002)을 참고하였으며 분류는 Nelson (1994)의 분류체계를 따랐다.

3. 라디오 발신기(radio tag) 적용 및 어류 추적

댐호 내 우점적으로 출현한 어종의 서식영역과 이동 특성을 알아보기 위해 이동하는 어종의 가장 정확한 위치를 실시간으로 파악할 수 있는 무선 원격측정법을 적용하였다. 라디오 발신기를 적용하기 위한 어류는 2012년 11월 조사시 호 내 st. 2 지점에서 우점적으로 출현한 어류를 대상으로 선호서식처 유형에 따라(Kim and Park, 2002) 총 4종 10개체(유수역 선호종인 참갈겨니 2개체, *Zacco koreanus*; 정수역을 선호하는 메기 3개체, *Silurus asotus*; 유수역과 정수역 모두 널리 서식하는 피라미 3개체와 돌고기 2개체, *Zacco platypus* and *Pungtungia herzi*)에 라디오 발신기를 적용하였다. 발신기를 적용한 개체들은 수술 이후 방류 전까지 회복을 위해 준비한 수조에서 충분한 회복시간을 가진 이후 완전히 활동성을 회복한 개체만 방류하였다. 회복시 문제가 있는 것으로 판단된 개체들은 현장에 방류하지 않았으며, 연구에서 제외하였다. 또한 발신기가 적용된 개체들 중 폐사한 개체는 신호가 한 지점에서 꾸준히 나오는 특징을 보이는데, 본 연구에서 추적을 시행한 방류개체들의 경우 짧은 거리일지라도 신호가 이동하는 것이 확인되어 폐사는 발생하지 않을 것으로 판단하였다. 라디오 발신기(F1555, 1.2 g, ATS Ltd., USA)는 대상어류 체중의 2%가 초과되지 않도록 하여 수술 후 생존기간을 높였으며 총 2회(2013년 4월 25일, 3개체; 2013년 9월 26일, 7개체)에 걸쳐 적용하였다. 연구에 사용된 라디오 발신기는 144.06~151.98 MHz 대역에서 사용이 가능하며, 1.5~4초마다 신호를 발신한다.

라디오 발신기 적용을 위해 채집된 어류는 수술 전 안정을 위하여 산소발생기가 장착되어 있는 플라스틱 수조(size, 1×1×0.8 m)에서 30분 동안 순치시켰다. 이후 Ethyl 3-aminobenzoate methane sulfonate salt (CAS number

886-86-2, Sigma-Aldrich, Germany)를 이용하여 마취시킨 후 개체의 크기(TL, TW)를 측정하였다. 라디오 발신기는 어류의 배지느러미 복강부위를 1 cm 가량 절개하여 복강 내에 주입하였으며, 라디오 발신기 삽입 후 절개부분은 봉합사(SK442, AILEE Co., Korea)를 이용하여 봉합하였다. 봉합 후 체중의 1%에 해당하는 양의 항생제(농도, kanamycin sulfate 100 mg 1 mL⁻¹; 주입량, 10 mL; CAS number 70560-51-9, Sigma-Aldrich, Germany)를 수술부위에 주사하였으며 생체용 접합제(vetbond, 3M, USA)를 수술부위에 접착하여 외부물질 침입을 방지하였다. 수술이 마무리된 개체는 산소공급이 충분히 이루어지고 있는 플라스틱 수조(size, 1×1×0.8 m)에서 완전히 회복될 때까지 순치 후 댐호 방류지점(release site)에 방류하였다(Fig. 1). 폐사를 막기 위해 수술시간은 3분 이내로 가능한 신속하게 수술을 실시하였으며 수술과정 중 수술도구로 인한 감염을 최소화하기 위하여 모든 수술도구는 70%의 에탄올을 이용하여 소독 후 사용하였다.

라디오 발신기가 적용된 개체의 추적은 Sika 라디오 수신기, 3-element Yagi 안테나(Biotrack, USA)를 사용하여 1~2주 주기로 실시하였다. 조사지점에서 라디오 발신기의 신호를 감지할 수 있는 감지범위(detection range)는 약 100m로 확인되었다. 따라서 정확한 위치를 파악하기 위하여 댐호는 고무보트를 이용하여 호 내 전 구간을 모니터링하였으며, 유입지천의 경우 하천을 따라 도보로 이동하면서 신호를 감지하였다. 신호가 감지된 지점은 최대한 정확한 위치 파악을 위하여 해당 위치의 GPS 데이터를 기록하였다.

4. 자료 분석

댐 건설 전·후의 어류군집 분석은 출현종수와 함께 개체수의 증감도 비교하고자 하였으나 댐호 조성 이전에 실시된 환경영향평가(Kwater, 2002)의 연구에서는 투망과 족대를 이용하여 조사하였고 댐호 조성 이후 본 조사에서는 삼각망을 정치하여 어류군집을 확인하였다. 따라서 댐 건설 전·후의 어류군집 분석은 조사도구 차이로 인한 오류를 줄이기 위해 어류 개체수의 증감 보다 종수의 증감에 초점을 두고 실시하였다. 댐호와 유입지천의 어류군집 유사도는 Sorensen's similarity (Krebs, 1999)를 이용하여 분석하였다. 어류 추적을 통해 나타난 개체별 이동정보로 서식하는 위치를 파악하여 시각화하였으며, 누적이동거리(AMD, Accumulated Movement Distance, m)와 최소서식영역(MHR, Minimum Habitat Range, m²)을 구하였다. 누적이동거리(AMD)는 모니터링 개체가 방류된 시점으로부터

터 마지막으로 신호가 감지된 시점까지 이동한 누적이동거리를 의미하며, 최소서식영역(MHR)의 경우 감지된 지점들을 선으로 연결하였을 때 나타나는 가장 넓은 면적을 의미한다. 어류 이동에 관한 분석은 ArcGIS 10.0 (ESRI, Redlands, USA)을 이용하여 실시하였다. 그리고 모든 통계분석은 PASW Statistics 18 (SPSS Inc., IL, USA)을 사용하였다.

결 과

1. 댐 건설 전·후 및 댐호와 유입지천의 어류군집 비교

군위댐 건설 전 댐호 예상 지점(st. 1, st. 2)을 대상으로 실시된 환경영향평가에서 총 7과 15종의 어류가 확인되었으나(Kwater, 2002) 건설 후 실시한 본 호 내 조사에서는 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*), 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*), 수수미꾸리(*Niwaella multifasciata*), 자가사리(*Liobagrus mediadiposalis*), 꺾지(*Coreoperca herzi*), 동사리(*Odontobutis platycephala*) 등이 채집되지 않아 총 4과 10종의 어류만 확인되었으며, 유입지천(st. 3~6)에서도 동사리를 제외하고 쉬리, 미꾸리, 수수미꾸리, 꺾지 등이 채집되지 않았다(Table 2). 유입지천은 총 4과 9종의 어류가 채집되었으며, 호 내에서 채집된 8종이 유입지천에서도 확인되었다(Table 2). 댐호와 유입지천의 경우 군집유사도가 0.842로 높은 유사성을 나타냈다. 또한 댐호 인근 호 내 st. 1 지점(3과 10종)과 유입지천의 군집유사도 역시 0.737로 높은 값을 보였다. 호 내 우점종은 긴물개(*Squalidus gracilis majimae*)로 총 6,347개체가 채집되어 46.4%의 상대풍부도(RA, relative abundance)를 보였으며 아우점종은 총 5,559개체가 채집된 피라미(RA, 40.6%)로 나타났다. 이외 참갈겨니(RA, 9.8%), 붕어(*Carassius auratus*; RA, 1.2%)를 제외한 나머지 종의 경우 상대풍부도 1% 미만의 낮은 비율을 나타냈다. 유입지천 역시 호 내 우점종인 긴물개(RA, 31.7%)가 우점하였으며 이외 참갈겨니(RA, 30.2%), 피라미(RA, 19.0%)가 다수 출현하였다. 시기별 출현어류의 경우 댐호 및 유입지천은 각각 시기별로 큰 차이를 보이지 않았다.

2. 호 내 우점 어류의 이동 특성 분석

어류들의 GPS자료를 기반으로 서식위치를 분석한 결과, 모든 대상어류들은 주로 수심이 깊은 호 내 중앙지역(평상시 최대 수심 25 m)보다 상대적으로 수심이 얇은 호 내 수변지역을 서식처로 이용했다(Figs. 2, 3). 그리고 어류들

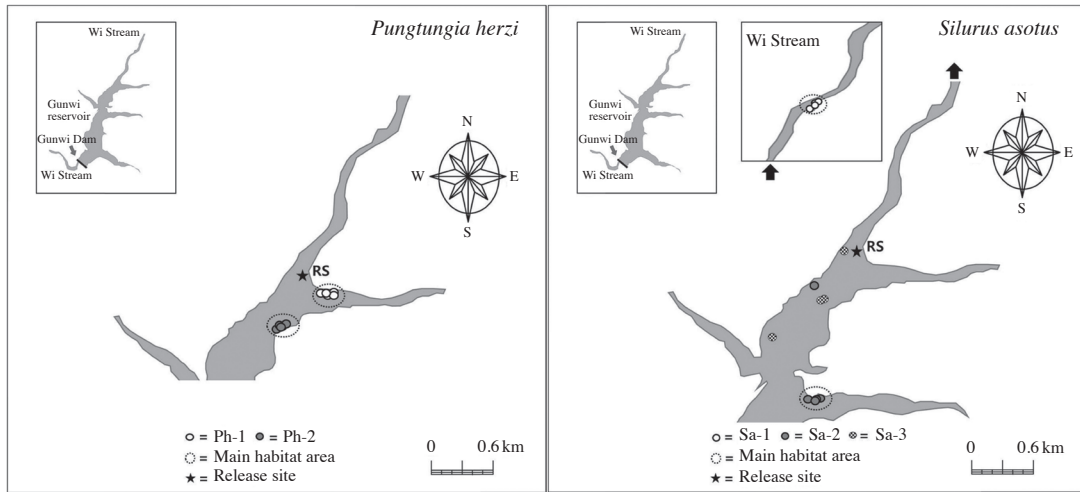


Fig. 2. Movement patterns of radio tag applied *P. herzi* and *S. asotus*.

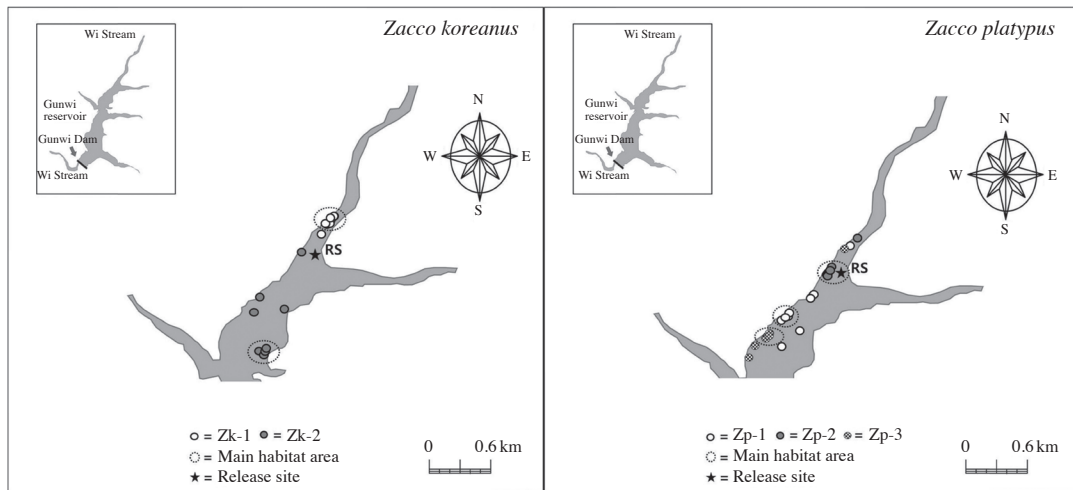


Fig. 3. Movement patterns of radio tag applied *Z. koreanus* and *Z. platypus*.

의 누적이동거리(AMD)와 최소서식영역(MHR)은 돌고기를 제외하고 종별 개체 간 큰 차이를 보였다(Table 3, Fig. 2). 돌고기는 두 개체 모두 서식처 선택 이후 선택된 지역을 지속적으로 이용하여 큰 이동은 관찰되지 않았다. 또한 모니터링 기간 동안 메기 Sa-1 개체만 방류 후 3 km 상류에 위치한 위천 지점으로 이동하였으며, 이외 개체는 지천으로의 이동이 확인되지 않았다.

고찰

댐 건설로 인한 서식처 변화는 기존 유수환경인 하천에

서식하는 어류 개체군에 부정적 영향(서식지역 축소 등)을 미쳐 댐 건설 전보다 건설 후 기존 서식종의 감소를 야기할 수 있다(Gehrke *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2011). 군위댐 건설 전 실시된 Kwater (2002) 조사와 건설 후 동일 지점에서 실시한 본 조사의 경우 군위댐 건설 전보다 건설 후 종수가 감소된 것을 확인하였다. 특히 댐 건설 전 서식하던 유수역 선호종인 쉬리, 수수미꾸리, 자가사리, 꺾지 등이 댐 건설 후 호 내 지점과 유입지천에서는 채집되지 않았다. 따라서 댐 건설로 인한 서식환경 변화가 서식지역 축소를 야기하여 종수의 감소 특히, 유수환경 선호종의 감소에 영향을 준 것으로 판단된다. 유입지천에서 채집된 8종이 군위댐호 내에서도 확인되었다. 특히 호 내 채집

Table 3. Details of the total length (TL), total weight (TW), radio tag frequency, released data and movement of radio tagged fishes.

| Species | ID | TL(mm) | TW(g) | Radio tag frequency (MHz) | Release | Date of harvested/ disappeared | Tracking days | AMD (m) | MHR (m ²) |
|-------------------------|------|--------|-------|---------------------------|----------------|--------------------------------|---------------|---------|-----------------------|
| <i>Pungtungia herzi</i> | Ph-1 | 154 | 132 | 145.1435 | Apr. 25. 2013 | Oct. 31. 2013 | 189 | 567 | 759 |
| | Ph-2 | 149 | 128 | 144.9936 | Apr. 25. 2013 | Oct. 31. 2013 | 189 | 519 | 1,057 |
| <i>Silurus asotus</i> | Sa-1 | 262 | 238 | 145.5355 | Apr. 25. 2013 | Sept. 16. 2013 | 144 | 3,279 | 7,806 |
| | Sa-2 | 402 | 360 | 144.0642 | Sept. 26. 2013 | Nov. 22. 2013 | 57 | 1,733 | 61,018 |
| | Sa-3 | 443 | 407 | 145.4443 | Sept. 26. 2013 | Nov. 22. 2013 | 57 | 1,978 | 56,039 |
| <i>Zacco koreanus</i> | Zk-1 | 142 | 114 | 144.9631 | Sept. 26. 2013 | Apr. 03. 2014 | 199 | 578 | 1,542 |
| | Zk-2 | 160 | 133 | 144.4832 | Sept. 26. 2013 | Apr. 03. 2014 | 199 | 4,420 | 146,702 |
| <i>Zacco platypus</i> | Zp-1 | 149 | 121 | 144.1847 | Sept. 26. 2013 | Apr. 03. 2014 | 199 | 1,949 | 51,760 |
| | Zp-2 | 152 | 124 | 144.5428 | Sept. 26. 2013 | Apr. 03. 2014 | 199 | 801 | 7,099 |
| | Zp-3 | 144 | 116 | 144.4245 | Sept. 26. 2013 | Dec. 31. 2013 | 96 | 1,252 | 14,114 |

AMD, Accumulated Movement Distance; MHA, Minimum Habitat Range.

된 돌마자(*Microphysogobio yaluensis*)와 참갈겨니는 저수지와 같은 정수환경에서 잘 확인되지 않는 어종이다(Jang, 2002; Yoo, 2007). 호 내 이러한 종의 서식은 건설시기 및 댐의 위치와 관련이 크다. 군위댐은 건설되지 오래되지 않았으며 댐이 위치한 지역은 위천의 상류 수계로 댐 조성 이전에는 전형적인 우수역 형태를 띠고 있었으며 서식하는 종들도 대부분 우수역 선호종이었다(Kwater, 2002; Seo and Kim, 2009). 따라서 기존에 서식하던 종들은 대부분 이와 같은 환경에 적응된 종들로 붕어를 제외한 정수역 선호종은 확인하기 어려웠다. 그리고 유입지천 인근에 농업용 저수지 등 정수환경이 위치하지 않아 정수성 어종의 자연유입은 어려울 것으로 사료된다. 본 조사에서 새로 출현한 정수역 선호종은 메기로, 이 종의 경우 댐 조성 이후 어족 자원 확보를 위해 군위댐 준공 후 수자원공사에서 인위적으로 방류한 종으로 확인되었다. 본 지역에서는 향후에도 자연유입 보다는 방류와 같은 인위적인 유입으로 정수성 종수가 늘어날 수 있으며, 특히 호소생태계에 적합한 정수성 어종의 방류가 지속될 경우 호 내 어류군집 구조의 변화가 가속될 것으로 판단된다. 또한 댐 건설 이후 오랜 시간이 지날수록 정수환경이 안정화되어 정수역 선호종들의 개체수는 증가하고 우수역 선호종은 거의 찾아보기 힘들다(Agostinho *et al.*, 1999; Agostinho *et al.*, 2008). 따라서 댐과 지천은 확연한 물리적 환경 차이 때문에 군위댐호 또한 시간이 지나 정수환경이 안정화되면 서식종이 구분될 것으로 예상된다.

본 연구에서는 라디오 발신기 적용 개체의 수도 적고 replicate도 적기 때문에 종의 경향성을 논하지는 못하지만 이들 종에 대한 결과가 국내에서는 전무하거나 많지 않기 때문에 종에 대한 생태적 특성으로써 정보를 제시할 수

있을 것으로 판단된다. 어류의 이동은 포식압(Pettersson *et al.*, 2001), 생활사(Helfman, 1993; Reeb, 2002), 산란(Andrade *et al.*, 2007), 탁도(Prchalová *et al.*, 2010), 수온(Prchalová *et al.*, 2006), 유량(Mitchell and Cunjak, 2007) 등 다양한 요인에 의해 영향을 받으며, 특히 종별 습성과 밀접한 관련을 갖는다(Matthews, 1998; Lucas *et al.*, 2001). 또한 이동거리는 어류의 길이와 함께 증가하는 경향을 보인다(Railsback *et al.*, 1999; Edgar *et al.*, 2004). 본 연구에서도 전장이 작은 돌고기는 두 개체 모두 AMD, MHR이 작게 나타났다. 이러한 결과는 종별 습성뿐 아니라 상대적으로 작은 돌고기의 길이가 이동거리에 영향을 미칠 수 있는 가능성이 있을 것으로 판단된다. 흐르는 하천에 인공구조물인 댐이 건설되면 하천의 다양한 거소 및 미소환경이 훼손되면서 서식처가 우수환경에서 정수환경으로 변화된다(Baxter, 1977). 이러한 서식환경 변화는 기존 하천환경에서 적응하여 서식하던 어종에게 많은 교란을 유발한다(Harris, 1984; Kinsolving and Bain, 1993). 이에 따라 기존 서식어류들은 호 내 정수환경에서 선호서식처가 존재하는 우수환경으로 이동하거나(Yoon *et al.*, 2012) 새로운 서식처인 정수환경에서 적응하여 생존한다(Kim *et al.*, 2014). 본 연구결과에서 물 흐름이 빠른 하천의 중·상류에 서식하며 우수역 선호 어종인 참갈겨니는 선호 서식처인 지천으로의 이동을 예상했으나 지천으로 이동한 개체는 없었으며, 메기 1개체만 지천으로 이동했다. 호 내에서 서식하는 어류의 경우 메기(모래와 진흙이 존재하는 곳에 주로 서식), 피라미(하천과 저수지 등 전국적으로 고루 분포), 참갈겨니는 주로 중앙지역보다 수변지역을 서식지역으로 이용했다. 그리고 큰 돌이나 자갈이 있는 곳에서 주로 생활하는 돌고기도 호 내 수변지역을 서식지역으로 이용

하였다. 서식지역의 환경에 따라 같은 종이라도 서식처를 이용하는 규모 및 방식이 달라질 수 있다(Almeida *et al.*, 2012). 또한 군위댐호의 수변은 식물의 수가 많지 않지만 식생이 있고 위천 상류에 건설된지 오래되지 않아 흐름을 제외한 얇은 수심, 큰 자갈이 존재하는 하상 등 기본적인 수환경이 호 내 수변과 유입지천이 유사하기 때문에(Lee, unpublished data), 호 내 어류들이 지천으로 이동하지 않고 지속적으로 수변지역을 이용할 가능성이 있을 것으로 판단된다. 하지만 Yoon *et al.* (2012)의 연구에서 참갈겨니와 같은 속(genus)이며 유수환경 선호종인 갈겨니(*Zacco temminckii*)는 기존 서식처인 유수환경에서 정수환경으로 이동될 때 짧은 시간 내 선호 서식처인 지천으로 이동하는 결과를 보였다. 따라서 참갈겨니 또한, 호 내 정수환경에 적응하여 서식할 수 있지만 시간이 경과하여 호 내 정수환경이 안정화될 때 선호서식처인 지천으로 이동할 가능성이 있을 것으로 예상된다.

군위댐 건설 전보다 건설 후에 기존 서식종의 수가 감소되어, 댐 건설로 인한 서식환경 변화는 종수의 감소 특히 유수환경 선호종의 감소에 큰 영향을 줄 것으로 사료된다. 군위댐 호와 유입지천의 어류군집은 매우 유사했다. 그리고 호 내 서식어류들은 메기를 제외하고 지천으로의 이동은 확인되지 않았으며 주로 수변지역을 서식처로 이용했다. 이러한 결과를 참고하여 댐과 지천에 대한 지속적인 모니터링이 이루어질 경우 환경적 변화(유수역에서 정수역으로)에 따른 호 내 어류군집 변화 과정 및 이동 특성을 상세하게 분석할 수 있을 것이다. 본 연구를 통해 도출되는 결과는 댐의 건설이 어류에 미치는 영향 및 신규댐호 내 서식어류의 생태적 특성을 파악하는 것과 더불어 군위댐호를 포함한 국내 다수의 호 내 서식어류를 관리하는 데 있어서 효율적으로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

수자원 확보를 위해 주로 하천의 상·중류에 건설되는 댐과 같은 물리적 교란은 그 지역에 서식하는 생물의 이동을 제한하고 유전적 단절과 군집의 변화를 야기한다. 이러한 환경변화는 특히 생태계 최상위 소비자 중 하나인 담수 어류에 크게 영향을 미친다. 따라서 댐 건설로 인하여 유수역에서 정수역으로 변화된 지역을 대상으로 담수어류의 군집변화를 파악하고 더불어 댐호와 유입지천의 어류군집 특성을 비교하고자 하였다. 또한 댐호 내에서 어류의 서식 영역과 이동특성에 대해 원격측정(telemetry)법으로 연구하였다. 연구는 2010년 12월 완공된 군위댐을 대상으로 시

행하였다. 무선 원격측정(radio telemetry) 대상 어류는 호 내 우점적으로 서식하는 정수역 선호종인 메기, 유수역과 정수역 모두에 널리 서식하는 피라미와 돌고기, 유수역 선호종인 참갈겨니를 선정하였다. 어류군집 조사 결과, 군위댐 건설 전(7과 15종)보다 건설 후(댐호, 4과 10종; 유입지천, 4과 9종) 종수가 감소되었다. 특히 댐 건설 전 서식하던 유수역 선호종인 쉬리, 수수미꾸리, 자가사리, 꺾지 등이 댐 건설 후 댐호 및 유입지천에서는 채집되지 않았다. 그리고 채집 방법에 차이가 있지만 유입지천에서 채집된 어류 8종이 군위댐호 내에서도 확인되었으며 댐호와 유입지천의 군집 유사도의 경우 0.842(Sorensen's similarity)로 높은 유사성을 나타냈다. 무선 원격측정 결과, 메기 한 개체를 제외한 다른 종들은 유입지천으로의 이동이 확인되지 않았다. 모든 어류들이 주로 수심이 깊은 지역보다 상대적으로 수심이 얇은 수변 지역을 호 내 서식처로 이용하고 있었다. 이러한 연구를 통해 나타난 결과는 호 내 서식 어류를 보다 효율적으로 관리할 수 있는 기초자료가 될 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부 Eco-STAR project (수생태복원사업단)의 “수생태계 생물서식처 복원기술 개발(과제번호 : EW11-07-10)”의 연구비지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Agostinho, A.A., F.M. Pelicice and L.C. Gomes. 2008. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian Journal of Biology* **68**: 1119-1132.
- Agostinho, A.A., L.E. Miranda, L.M. Bini, L.C. Gomes, S.M. Thomaz and H.I. Suzuki. 1999. Patterns of colonization in neotropical reservoirs, and prognoses on aging, p. 65-227. *In: Theoretical reservoir ecology and its applications* (Tundisi, J.G. and M. Straškraba, eds.). International Institute of Ecology, São Carlos.
- 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.
- Andrade, N.O., B.R. Quintella, J. Ferreira, S. Pinela, I. Póvoa, S. Pedro and P.R. Almeida. 2007. Sea lamprey (*Petromyzon marinus* L.) spawning migration in the Vouga river basin (Portugal): poaching impact, preferential resting sites and

- spawning grounds. *Hydrobiologia* **582**: 121-132.
- Arnekleiv, J.V., M. Kraabøl and J. Museth. 2007. Efforts to aid downstream migrating brown trout (*Salmo trutta* L.) kelts and smolts passing a hydroelectric dam and a spillway. *Hydrobiologia* **582**: 5-15.
- Baxter, R.M. 1977. Environmental effects of dams and impoundments. *Annual Review of Ecology and Systematics* **8**: 255-283.
- Bernardo, J.M., M. Ilhéu, P. Matono and A.M. Costa. 2003. Interannual variation of fish assemblage structure in a Mediterranean river: implications of streamflow on the dominance of native or exotic species. *River Research and Applications* **19**: 521-532.
- Briggs, J.C. 1950. The quantitative effects of a dam upon the bottom fauna of a small California stream. *Transactions of the American Fisheries Society* **78**: 70-81.
- Caudill, C.C., W.R. Daigle, M.L. Keefer, C.T. Boggs, M.A. Jepsen, B.J. Burke and C.A. Peery. 2007. Slow dam passage in adult Columbia River salmonids associated with unsuccessful migration: delayed negative effects of passage obstacles or condition-dependent mortality?. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **64**: 979-995.
- Edgar, G.J., N.S. Barrett and A.J. Morton. 2004. Patterns of fish movement on eastern Tasmanian rocky reefs. *Environmental Biology of Fishes* **70**: 273-284.
- Eklund, A.M. and J. Schull. 2001. A stepwise approach to investigating the movement patterns and habitat utilization of goliath grouper, *Epinephelus itajara*, using conventional tagging, acoustic telemetry and satellite tracking, p. 189-216. *In: Electronic Tagging and Tracking in Marine Fisheries* (Sibert, J.B. and J.L. Nielsen, eds.). Springer Netherlands.
- Fukushima, M., S. Kameyama, M. Kaneko, K. Nakao and E. Ashleysteel. 2007. Modelling the effects of dams on freshwater fish distributions in Hokkaido, Japan. *Freshwater Biology* **52**: 1511-1524.
- Gehrke, P.C., D.M. Gilligan and M. Barwick. 2002. Changes in fish communities of the Shoalhaven River 20 years after construction of Tallowa Dam, Australia. *River Research and Applications* **18**: 265-286.
- Harris, J.H. 1984. Impoundment of coastal drainages of south-eastern Australia and a review of its relevance to fish migration. *Australian Zoologist* **21**: 235-250.
- 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.
- Helfman, G.S. 1993. Fish behaviour by day, night and twilight, pp. 479-513. *In: Behaviour of Teleost Fishes*. Chapman and Hall, London.
- Jacobsen, L., S. Berg, M. Broberg, N. Jepsen and C. Skov. 2002. Activity and food choice of piscivorous perch (*Perca fluviatilis*) in a eutrophic shallow lake: a radio-telemetry study. *Freshwater Biology* **47**: 2370-2379.
- Jang, M.H. 2002. Ecological Study of Freshwater Fish in Korea: Fish Fauna, Prey-predator Interaction and the Responses of Cyanobacteria to Fish Grazing. PhD Thesis, Pusan National University.
- 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.
- Kang, K.M. and H.O. Shin. 2010. Movement range and behavior of mandarin fish (*Siniperca scherzeri*) and catfish (*Parasilurus asotus*) in Chungju Lake. *Journal of the Korean Society of Fisheries Technology* **46**: 148-156.
- Kelly, J.M. and D.M. Janz. 2008. Altered energetics and parasitism in juvenile northern pike (*Esox lucius*) inhabiting metal-mining contaminated lakes. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **70**: 357-369.
- Kim, D.S., C.G. Choi, S.J. Joh and J.H. Kim. 2002. Preservation of Fish Community by the Construction of the Tamjin Dam. *Korean Journal of Limnological Society* **35**: 237-246.
- Kim, I.S. and H. Yang. 2001. Fish Community Changes of the Buan Dam, Korea. *The Korean Journal of Ecology* **24**: 45-50.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. Freshwater Fishes of Korea. Kyohak Publishing, Seoul, 465 pp.
- Kim, J.H., J.D. Yoon, W.M. Heo, D.S. Kim, C. Kim and M.H. Jang. 2014. Movement patterns of three freshwater fish species after upstream transportation by fishway in the Jangheung Dam. *Paddy and Water Environment* **12**: 141-148.
- Kinsolving, A.D. and M.B. Bain. 1993. Fish assemblage recovery along a riverine disturbance gradient. *Ecological Application* **3**: 531-544.
- Krebs, C.J. 1999. Ecological Methodology. Addison-Welsey Educational Publishers, Canada, 620 pp.
- Kwater. 2000. Study on the present status and characteristics of Korean Dam. Kwater, 191 pp.
- Kwater. 2002. Environmental Impact Assessment by construction of Hwabuk Dam. Kwater, 1198 pp.
- Liermann, C.R., C. Nilsson, J. Robertson and R.Y. Ng. 2012. Implications of dam obstruction for global freshwater fish diversity. *BioScience* **62**: 539-548.
- Lucas, M.C., E. Baras, T.J. Thom, A. Duncan and O. Slavík. 2001. Migration of freshwater fishes. Blackwell Science, Oxford, 420 pp.
- Lymbery, A.J., M. Hassan, D.L. Morgan, S.J. Beatty and R.G. Doupe. 2010. Parasites of native and exotic freshwater fishes in south western Australia. *Journal of Fish Biology* **76**: 1770-1785.
- Matthews, W.J. 1998. Patterns in freshwater fish ecology. Springer Science & Business Media, New York, 756 pp.
- Mitchell, S.C. and R.A. Cunjak. 2007. Stream flow, salmon

- and beaver dams: roles in the structuring of stream fish communities within an anadromous salmon dominated stream. *Journal of Animal Ecology* **76**: 1062-1074.
- Nah, C.S. and S.S. Shin. 1992. A Study on the Fish Fauna After the Construction of Chuam Dam. *Korean Journal of Ichthyology* **4**: 55-62.
- Nelson, J.S. 1994. *Fishes of the World* (3rd ed.). John Wiley & Sons, New York, 600 pp.
- Pettersson, L.B., K. Andersson and K. Nilsson. 2001. The diel activity of crucian carp, *Carassius carassius*, in relation to chemical cues from predators. *Environmental Biology of Fishes* **61**: 341-345.
- Pires, A.M., I.G. Cowx and M.M. Coelho. 1999. Seasonal changes in fish community structure of intermittent streams in the middle reaches of the Guadiana basin, Portugal. *Journal of Fish Biology* **54**: 235-249.
- Poff, N.L. and D.D. Hart. 2002. How dams vary and why it matters for the emerging science of dam removal. *BioScience* **52**: 659-668.
- Prchalová, M., O. Slavík and L. Bartoš. 2006. Patterns of cyprinid migration through a fishway in relation to light, water temperature and fish circling behaviour. *International Journal of River Basin Management* **4**: 213-218.
- Prchalová, M., T. Mrkvička, J. Kubečka, J. Peterka, M. Čech, M. Muška and M. Vašek. 2010. Fish activity as determined by gillnet catch: a comparison of two reservoirs of different turbidity. *Fisheries Research* **102**: 291-296.
- Railsback, S.F., R.H. Lamberson, B.C. Harvey and W.E. Duffy. 1999. Movement rules for individual-based models of stream fish. *Ecological Modelling* **123**: 73-89.
- Reebs, S.G. 2002. Plasticity of diel and circadian activity rhythms in fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **12**: 349-371.
- Seo, J.W. and K.S. Kim. 2009. A Study of Fish Community on Up and Downstream of Hwabuk Dam Under Construction in the Upper Wie Stream. *Korean Journal of Limnological Society* **42**: 260-269.
- Stich, D.S., M.M. Bailey and J.D. Zydlewski. 2014. Survival of Atlantic salmon *Salmo salar* smolts through a hydropower complex. *Journal of Fish Biology* **85**: 1074-1096.
- Wallis, O.L. 1951. The status of the fish fauna of the Lake Mead National Recreational area, Arizona-Nevada. *Transactions of the American Fisheries Society* **80**: 84-92.
- Wang, L., D. Infante, J. Lyons, J. Stewart and A. Cooper. 2011. Effects of dams in river networks on fish assemblages in non-impoundment sections of rivers in Michigan and Wisconsin, USA. *River Research and Applications* **27**: 473-487.
- Yang, S.G., Y.C. Cho, H. Yang and E.J. Kang. 2012. Characteristics of Fish Fauna and Community Structure in Yongdam Reservoir by Inhabiting Environment Changes. *Korean Journal of Environmental Biology* **30**: 15-25.
- Yoo, D.J. 2007. Ichthyofauna of the Lakes and Reservoirs in Gyeongsangbuk-do. PhD Thesis, Chonnam National University.
- 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.