

## 백제보에 설치된 자연형 어도의 어류 이용 특성 분석

김정희 · 윤주덕<sup>1</sup> · 박상현 · 이진웅 · 백승호 · 장민호\*

공주대학교 생물교육과, <sup>1</sup>공주대학교 생물자원연구센터

**Characteristics of Fish Utilization of the Nature-like Fishway Installed at the Beakjae Weir. Kim, Jeong-Hui, Ju-Duk Yoon<sup>1</sup>, Sang-Hyeon Park, Jin-Woong Lee, Seung-Ho Baek and Min-Ho Jang\***  
(Department of Biology Education, Kongju National University, Gongju 32588, Korea; <sup>1</sup>Biological Resource Research Center, Kongju National University, Gongju 32588, Korea)

**Abstract** In South Korea, various nature-like fishways recently been installed for use by a wide variety of fish species. However, limited attempts have been made to monitor the fish utilization. The present study was conducted to ascertain the frequencies and patterns of utilization of the fishway installed at Beakjae Weir. We collected fish species that use the fishway by installing a fyke net at the exit of the fishway at least once a month from April 2013 to October 2013. Additionally, in order to identify all fish species that can potentially use the fishway, we investigated the fish fauna downstream to Beakjae Weir (mainstream of the Geum River). We found that 10 species belonging to 2 families used the fishway; this accounted for 64% of the total species inhabiting the mainstream. The species that used the fishway most frequently were *Microphysogobio jeoni*, followed by *Squaliobarbus curriculus* and *Opsariichthys uncirostris amurensis*. The highest number of fish using the fishway was observed in August, which was positively correlated with the water temperature (Spearman rank correlation,  $r_s=0.743$ ,  $P=0.035$ ). The sizes of the fish using the fishway varied widely, with the total body length ranging from 39 mm to 550 mm. Analysis of the time-dependent utilization frequency revealed that most fish used the fishway during the night (20:00~08:00). Compared to other fishways installed along the Geum River, the fishway installed at Beakjae Weir was used by fewer species and fish. This may be attributed to the structural inadequacy of the fishway, thereby resulting in a low attraction efficiency. Therefore, measures should be adopted to enhance the fishway attraction and passage efficiency. The results of this study can be used to ensure efficient operation and management of the Beakjae Weir fishway as well as serve as basic data for developing and building nature-like fishways tailored to Korean situations.

**Key words:** Beakjae Weir, fishway, freshwater fish, Geum River

## 서 론

하천에서 수자원의 활용을 위한 구조물 건설은 하천의

종적 연결성 (longitudinal connectivity)과 유수 생물 (lotic organisms)이 이용 가능한 서식처를 감소시킨다 (Reyes-Gavilán *et al.*, 1996; Rosenberg *et al.*, 1997). 이는 하천에 서식하는 많은 어류에게 부정적인 영향을 미치며, 특히 이동성이 강한 어류 개체군에 있어서 멸종의 원인이 되기도 한다 (Northcote, 1998). 따라서 하천의 연결성을 증가시켜 생물의 이동성 및 다양성 확보를 위해, 이동통로의 역할을

Manuscript received 20 August 2015, revised 25 September 2015,  
revision accepted 30 October 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.

하는 어도가 건설되고 있다(Clay, 1994).

초기의 어도는 경제적 가치가 높은 연어과 어종을 대상으로 하였지만(Stuart, 1962), 최근에는 대상어종을 특정종에 제한하기 보다 다양한 종이 전체 생활사(life stages)에서 이용할 수 있게 어도 건설의 방향성이 경제성에서 다양성 측면으로 변화되었다(Lucas and Baras, 2001). 즉, 다양한 종이 서식하고 있는 하천에 어도를 건설할 때는 다양한 크기와 유영 능력을 가지고 있는 많은 종들을 수용할 수 있어야 한다(Webb, 1998; Mallen-Cooper and Stuart, 2007). 자연형 어도는 다른 어도와 비교하여 경사가 완만하여, 자연하천의 모습을 모방하여 만들어지기 때문에 이용어종의 다양성이 높다(Parasiewicz *et al.*, 1998). 또한 다양한 크기의 하상(substrate)을 비규칙적으로 배치하여 다양한 흐름을 제공하며, 이는 유영능력의 차이가 있는 다양한 어류가 선호하는 흐름을 찾아서 이동할 수 있다(Bretón *et al.*, 2013). 이처럼 자연형 어도는 최근의 어도 건설의 방향성에 가장 적합한 어도이며, 따라서 국제적으로 많은 자연형 어도가 건설되고 있다(Parasiewicz *et al.*, 1998).

어도에 대한 적절한 모니터링이 시행되지 않으면 어도의 효과 및 효율이 과대, 과소평가될 수 있으며 이와 같은 결과는 적절하지 않는 어도의 건설을 초래하게 된다(Agostinho *et al.*, 2002). 국내의 경우 하구둑에 건설된 어도, 댐에 건설된 어도, 하천 건설된 다수의 표준형 어도에 대해서 다양한 방법으로 모니터링을 실시하여 어도 이용 특성을 파악하였다(Yang *et al.*, 2001; Yoon *et al.*, 2011; Choi and An, 2014). 반면 자연형 어도의 경우 국내에서 설치된 사례가 많지 않았으며, 또한 효율 및 효과를 평가할 수 있는 모니터링이 이루어지지 않아서 해당 어도를 관리하고 신규 어도를 건설하는 데 있어서 자료의 활용이 불가능하다. 따라서 어도의 건설 후 효율 및 효과를 확인할 수 있는 모니터링이 필수적으로 이루어져야 한다. 2009~2012년 국내에는 홍수예방과 생태복원을 목표로 “4대강 사업”이 시작되었으며, 사업의 일환으로 한강, 낙동강, 금강, 영산강 본류에 16의 대형 보가 건설되었다. 보의 건설로 단절된 연결성을 보완하기 위해서 보별로 1~2개의 어도가 건설되었으며, 이 중 자연형 어도가 8개로 가장 많이 건설되었다.

본 연구는 2012년 신규로 건설된 백제보 자연형 어도의 어류 이용현황 및 특징을 확인하였다. 이를 위해서 어도 출구부에 일각망을 설치하여 어도를 이용하는 어류를 파악하였으며, 시기별 · 시간별 어도이용 패턴을 파악하였다. 또한 추가로 백제보 자연형 어도의 문제점을 분석하여 어도의 효율을 높일 수 있는 방안을 제시하였다. 이는 백제보 자연형 어도의 관리뿐만 아니라 국내 실정에 적합한 자

연형 어도를 건설하는 데 있어서 큰 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지 개황

금강은 국내에서 가장 큰 강 중 하나로 길이가 394.79 km이다. 금강 본류에는 수자원의 활용 및 홍수조절을 위하여 2011년에 3개의 큰 보가 건설되었다(Fig. 1). 각 보에는 소수력 발전소 및 보의 건설로 단절된 수생생물의 이동을 도와주기 위한 어도가 1~2 개소 건설되어 있다. 백제보는 금강 본류에 건설된 3개 보 중 가장 하류에 건설된 보로 길이는 331 m, 높이는 5.3 m이며, 좌안에 소수력 발전소가 우안에 자연형 어도가 건설되어 있다. 연구가 진행된 백제보 자연형 어도의 총 길이는 820 m이며 경사는 1/200이다(Fig. 1). 어도의 폭은 6 m 내외이며, 일부 구간(2개의 어류شط터)의 폭은 최대 50 m로 나타났다. 어도 내 유입 유량은 백제보 상류부의 수위에 따라 달라지며, 백제보의 관리수위가 4.20 EL.m로 되고 있다.

### 2. 금강본류 어류군집

어도를 이용할 수 있는 잠재적인 어종을 파악하기 위하여 금강 본류의 어류군집을 파악하였다. 조사는 백제보 하

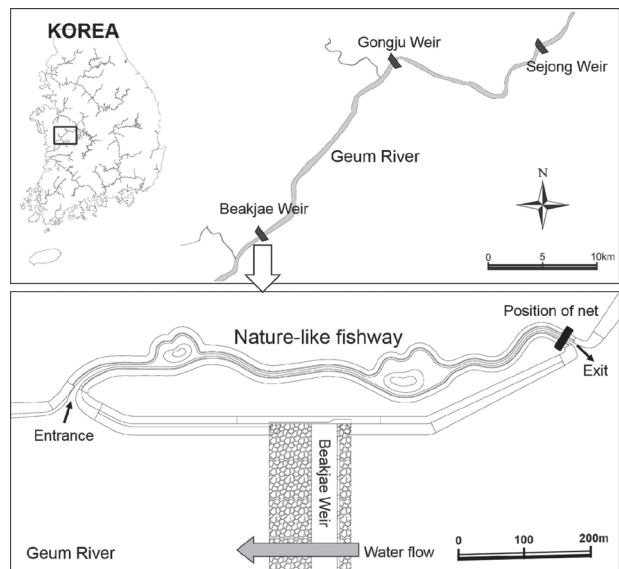


Fig. 1. Location of Beakjae Weir on the Geum River, South Korea. We studied a nature-like fishway constructed on the right side of the Beakjae Weir.

류 1 km 지점에서 이루어졌으며, 투망(망목, 7 mm; 포획면적, 16.6m<sup>2</sup>)과 삼각망(유인어망 길이, 20 m; 높이 2 m; 망목, 5 mm)을 이용하여 시행되었다. 매회 조사 시 투망을 15회 투척하였으며, 삼각망은 24시간 이상 정지하였다. 조사는 2013년 동절기를 제외하고 계절별로 총 3회(4월, 7월, 10월) 실시되었다.

3. 어도 모니터링

어도를 이용하는 종 및 개체를 파악하기 위하여 일각망(폭 10 m; 높이 1.5 m; 망목, 4 mm)을 어도 출구부에 설치하였다(Fig. 1). 일각망 설치 시 어도 출구부 전체를 가로막아서 소상하는 모든 어류를 채집하고자 하였다. 모니터링은 2013년 4월부터 2013년 10월까지 6개월(7월은 강우로 인하여 모니터링이 이루어지지 않음) 동안 매월 1회 이상 실시되었으며, 일주기 이용 현황을 파악하기 위하여 1회 모니터링(24시간)을 총 4개의 시간대로 구분(일출, 04:00~08:00; 주간, 08:00~16:00; 일몰, 16:00~20:00; 야간, 20:00~04:00)하여 채집된 어류를 확인하였다. 채집된 어류는 Kim and Park (2002)을 이용하여 동정하였으며, Nelson (2006)의 분류체계를 따라 정리하였다. 또한 현장에서 전장(total length, TL)와 체중(body weight, BW)을 측정 후 상류부에 방류하였다.

4. 자료분석

시기별 어도 이용 특성을 분석하기 위해서 환경요인인 수온(환경부 실시간 수질정보시스템, 부여 측정소)과 어도에서 채집된 종수 및 개체수와의 상관성을 Spearman rank correlation 분석을 통해 확인하였다. 또한 일주기 어도 이용 특성을 파악하기 위해서 4개의 시간대(일출, 주간, 일몰, 야간)별 채집 종수 및 개체수의 차이를 비모수 검정인 Kruskal-Wallis test를 통해 확인하였다. 모든 통계 분석은 SPSS 18.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) 을 이용하였다.

결 과

백제보 하류의 금강 본류에서 채집된 어류는 총 14종이며 이는 모두 잉어과(Cyprinidae)에 포함되는 어종들이다(Table 1). 금강 본류의 우점종 및 아우점종은 끄리(RA, 38.4%)와 땡경모치(25.0%)로 나타났으며, 이외 강준치(13.2%), 물개(9.8%)가 다수 확인되었다. 법정보호종은 채집되지 않았으며, 국내 고유종의 경우 물개, 참물개, 땡경모

Table 1. Fish assemblage in the Geum River and number fish collected using the fyke net in the fishway. Body size (total length and body weight) are the mean values ( $\pm$  standard deviations). The ranges are also presented.

Family	Species	Geum River												Fishway			
		No.	RA	Apr	May	Jun	Aug	Sep	Oct	Total	RA(%)	TL(mm)	BW(g)				
Cyprinidae	<i>Carassius auratus</i>	1	0.1														
	<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	1	0.1														
	<i>Acanthorhodeus macropterus</i>	1	0.1														
	<i>Squalidus japonicus coreanus</i> <sup>1</sup>	172	9.8			9		1		10	4.2	76.2 $\pm$ 6.9(61~88)	8.2 $\pm$ 12.4(2.2~45.2)				
	<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i> <sup>1</sup>	74	4.2		7	2				9	3.8	83.7 $\pm$ 7.8(70~99)	5.7 $\pm$ 1.8(3.7~9.6)				
	<i>Hemibarbus labeo</i>	46	2.6														
	<i>Hemibarbus longirostris</i>	5	0.3							4	1.7	84 $\pm$ 11.8(71~103)	4.5 $\pm$ 2(2.6~7.8)				
	<i>Pseudogobio esocinus</i>	69	3.9		1					1	0.4	166.0	34.4				
	<i>Microphysogobio jeoni</i> <sup>1</sup>	438	25.0	39		1	118	1		159	67.4	67.8 $\pm$ 14.1(48~105)	2.4 $\pm$ 1.9(0.8~9.5)				
	<i>Zacco platypus</i>	11	0.6			1				3	1.3	118.3 $\pm$ 3.3(116~123)	14.3 $\pm$ 0.8(13.1~15.1)				
	<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>	672	38.4		1	5	3	7	2	18	7.6	136.6 $\pm$ 57.3(47~243)	29.1 $\pm$ 33.1(0.8~102.7)				
	<i>Squaliobarbus curriculus</i>	26	1.5	14	7	3				25	10.6	248 $\pm$ 60.9(185~427)	134.1 $\pm$ 127.1(48~493)				
	<i>Erythroculter erythropterus</i>	232	13.2														
	<i>Hemiculter eigenmanni</i> <sup>1</sup>	3	0.2	2		3	1			6	2.5	144.3 $\pm$ 40.1(64~182)	25.6 $\pm$ 14.9(1.3~46.7)				
<i>Rhinogobius brunneus</i>					1				1	0.4	56.0	2.4					
	No. of individuals	1751		55	16	25	125	11	4	236							
	No. of species	14		3	4	8	4	5	3	10							

<sup>1</sup>Endemic species; RA, relative abundance

치, 치리가 채집되어 총 28.6%의 고유화 빈도를 나타냈다.

어도 출구부에 설치된 일각망에서 채집된 어류는 총 2과 10종으로 본류에 서식하는 어종의 64%가 어도를 이용하였다(Table 1). 어도를 가장 많이 이용한 어류는 뿔경모치(RA, 67.4%)였으며, 눈불개(10.6%), 끄리(7.6%) 역시 어도를 다수 이용하였다. 어도 주요 이용 어종은 금강 본류의 우점종과 유사하였지만, 금강 본류에서 다수 채집된 강준치가 어도에서 전혀 채집되지 않아서 일부 차이를 보였다. 또한 금강 본류에 서식하는 4종의 고유종이 모두 어도를 이용하였다.

어도 이용어류의 시기별 이용 현황을 분석 한 결과 하루 최대 8종(6월)이 어도를 이용하였다. 반면 6월을 제외한 다른 시기의 경우 3~5종만이 어도를 이용하여 어도 이용 어종의 다양성이 낮게 나타났다. 이용 개체수도 8월 조사를 제외하고 하루 4~55개체의 어류가 어도를 이용하여 어도 이용율이 높지 않았다(Fig. 2). 총 125개체가 채집된 8월의 경우 뿔경모치가 118개체 채집되어 개체수가 증가하였으나, 이를 제외한 3종의 경우 1~3개체만이 어도를 이용한 것으로 나타났다. 수온과 어도 이용 종수(Spearman rank correlation,  $r_s=0.216$ ,  $P>0.05$ ) 및 개체수( $r_s=0.743$ ,  $P=0.035$ )의 상관성을 분석한 결과 수온이 증가할수록 어도 이용 개체수가 증가하는 것으로 나타났다.

어도 이용개체의 전장 범위는 39 mm~550 mm로 다양한 크기의 어류가 어도를 이용하는 것으로 나타났다(Fig. 3). 반면 이 중 75.4%의 어류가 전장 50~100 mm로 확인되어 어도를 다수 이용하는 것을 확인하였다. 이는 우점종인 뿔경모치(TL max, 105 mm)를 포함한 물개(88 mm), 참물개(99 mm) 등 최대 전장 크기가 작은 종들이 어도를 다수 이용하였기 때문이다. 어도 이용 어류의 종별 크기를 분석한 결과 크기가 작은 밀어(TL mean, 56.0 mm)부터 큰 눈불개

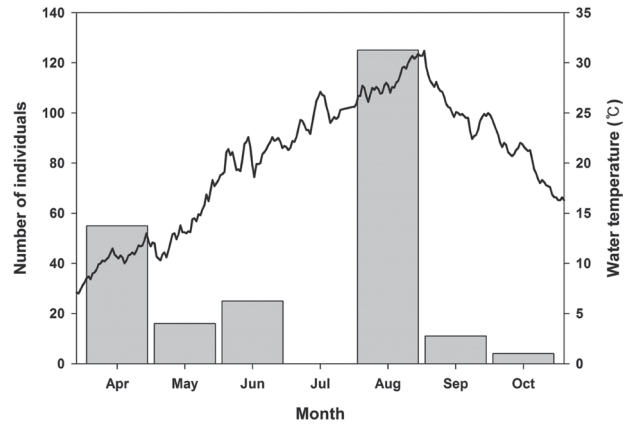


Fig. 2. Monthly variations in water temperature of the Geum River and number of fish that used the nature-like fishway (The July data was excluded from the survey and data collection).

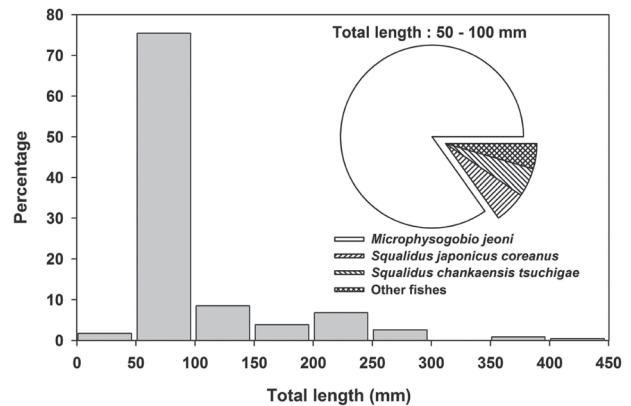


Fig. 3. Size class distribution of captured fishes using the fyke net in the nature-like fishway. The size class was divided into 50 mm subdivisions.

Table 2. Diel variations in fish utilization of the nature-like fishway. The frequency is indicated by the species and the utilization time slot.

Species	Time period (%)			
	Dawn (04:00~08:00)	Day (08:00~16:00)	Dusk (16:00~20:00)	Night (20:00~04:00)
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>	100			
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>	67			33
<i>Hemibarbus longirostris</i>	75			25
<i>Pseudogobio esocinus</i>	100			
<i>Microphysogobio jeoni</i>	4	1	9	85
<i>Zacco platypus</i>	100			
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	67		6	28
<i>Squaliobarbus curriculus</i>	4	16	32	48
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	17			83
<i>Rhinogobius brunneus</i>	100			
Total	19	3	10	68

(248.0 mm)까지 다양한 크기의 어종들이 어도를 이용함을 확인할 수 있었다.

시간대별 어도 이용 특성을 확인한 결과 4개의 시간대별 이용 어류의 종수(Kruskal-Wallis test,  $P=0.001$ ) 및 개체수( $P=0.006$ )가 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 가장 많은 종이 이용한 시간대는 일출(10종)과 야간(6종) 시간대였으며, 주간과 일몰 시간대에는 각각 2종과 3종만이 어도를 이용하였다. 가장 많은 개체가 이용한 시간대는 야간(RA, 68%)이었으며, 다음으로 일출(19%), 일몰(10%), 주간(3%) 시간대 순서였다(Table 2). 어종별 비교 시 뽕명모치와 눈불개만이 모든 시간대에 어도를 이용하였으며, 이외 꼬리의 경우 낮 시간대를 제외하고 어도를 이용하였다. 나머지 어종들의 경우 어도 이용이 야간과 일출 시간에만 제한적으로 나타났다.

## 고 찰

본 연구에서 백제보 자연형 어도를 이용한 어종은 총 2과 10종으로 나타났으며, 백제보하류의 금강 본류에서 채집된 14종 중 64%가 어도를 이용하고 있는 것을 확인하였다. 어도의 효율은 어도의 설치 위치, 대상어종, 타입에 따라 달라지기 때문에 다른 어도의 효율과 직접적인 비교가 어렵지만(Bunt *et al.*, 2002), 인근지역에 위치하여 잠재적인 어도 이용어류가 유사한 경우 간접적으로 어도의 효율을 비교할 수 있다. 공주보 아이스하버식 어도의 경우 금강 본류에 위치하고 있으며, 백제보와의 거리가 23 km로 멀리 떨어져 있지 않아서 잠재적인 이용 어류가 유사하다. Lee *et al.* (2005)이 2012년 공주보에 설치된 아이스하버식 어도를 모니터링 한 결과 총 5회의 모니터링에서 21종 1,114개체가 어도를 이용하였음을 확인하였다. 이를 고려할 때 백제보 자연형 어도의 이용어종의 다양성은 높지 않으며, 이용 개체수 역시 매우 적음을 확인할 수 있다. 또한 금강 본류에 서식하지만 백제보 자연형 어도를 이용하지 않은 5종의 어류 중 붕어, 누치, 강준치의 경우 공주보 아이스하버식 어도를 이용하는 것으로 확인되었다(Lee *et al.*, 2005). 특히, 금강 본류에서 상대풍부도가 13.2%로 높게 나타난 강준치의 경우 백제보 자연형 어도에서 전혀 확인되지 않은 반면 공주보 아이스하버식 어도에서는 9월 조사를 제외한 모든 조사시기에서 어도를 이용하였다. 이러한 결과를 통해서 어도를 이용하지 않은 일부 어종들의 경우 생태적인 특성보다 백제보 자연형 어도의 구조적 측면(유량, 유속, 수심, 유인효과 등)이 더 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 어도의 생물학적 주요 목표는 보 아래의 어류 개

체군을 보 위로 올려놓아서 둘 사이의 유전적 격리를 피하는 데 있다(Porcher and Travade, 2002). 금강 본류에서 서식하는 어류에 대해서 백제보 자연형 어도는 이러한 생물학적 목표를 잘 이행하지 못하고 있는 것으로 나타났으며, 이용 어종 및 개체수를 증가시킬 수 있는 개선방안이 마련되어야 할 것으로 사료된다.

어류의 크기는 유영능력과 직접적으로 연관되어 있으며, 크기가 클수록 유영능력이 증가한다(Ward *et al.*, 2002). 백제보 자연형 어도를 이용한 어류의 최소 전장 크기는 39 mm로 매우 작다. 이를 고려해 볼 때 백제보 자연형 어도는 유영능력이 좋지 않은 어류가 어도를 충분히 이용할 수 있음을 확인할 수 있다. 일반적으로 경사가 급한 표준형(standard type) 어도의 경우 유속이 빠르며, 자연형 어도의 경우 이와 비교하여 경사가 완만하여 유속이 상대적으로 느리게 유지된다. 백제보 자연형 어도의 경우 경사가 1/200으로 매우 완만하며 어도 내 유속이  $0.1 \sim 0.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 이다. 국토해양부 어도설계기준에 의하면 어도 설계조건으로 유속의 범위를  $0.5 \sim 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 제시하고 있는데, 백제보 자연형 어도의 경우 기준 유속범위보다 유속이 느리게 유지되고 있다. 따라서 어도 내 느린 유속이 작은 크기의 어류가 어도를 이용하는 데 있어서 도움이 되었을 것으로 판단된다. 또한 크기가 작은 개체만 어도를 이용하는 것이 아니라 큰 개체( $\sim 427 \text{ mm}$ )까지 이용하여 이용개체의 크기 범위가 매우 넓게 나타났는데, 이는 다양한 생활사를 가진 개체들이 이용 가능함을 의미한다.

백제보 자연형 어도의 경우 햇빛이 없는 20:00~08:00 시간에 대부분의 어류가 어도를 이용하는 것으로 나타났다. Jonsson (1991)의 연구결과에 의하면 어류가 이동하는데 있어서 빛이 큰 영향을 주며, 야간에 이동을 함으로써 생존율이 높아진다고 보고하였다. 백제보 자연형 어도는 수심이 10~50 cm로 얕아서 어도를 통한 이동과정에서 외부 포식자로부터 포식 확률이 높다. 또한 이용하는 어종이 대부분 크기가 작은 어종이며, 따라서 포식자로부터 포식될 확률이 높아서 시각적으로 회피할 수 있는 야간시간에 어도를 주로 이용하고 있는 것으로 추측된다. 실제 어도의 이용에 있어서도 Santos *et al.* (2005)은 포르투갈의 Lima 강 하류에 설치된 자연형 어도에서 조석(tidal)의 영향을 받는 일부 어종을 제외하고 모든 종이 포식자를 피해서 야간에 이동하는 것을 선호함을 보고하였다. 반면 본 연구에서 눈불개만이 낮(16%)과 일몰(32%)시간대에 어도를 다수 이용하여 차이를 보였다. 이는 눈불개의 평균 전장이 248 mm, 최대크기가 427 mm로 다른 종과 비교하여 크기가 매우 크며, 유영능력이 좋아서 포식될 확률이 상대적으로 적기 때문에 나타난 결과로 사료된다.

어도의 연구는 해당 어도의 현황 및 문제점을 파악하여 적합한 관리 시스템을 구축하고 차후 어도 건설을 위해 디자인을 향상시키기 위해서 필요하다(Roscoe and Hinch, 2010). 백제보 자연형 어도의 경우 낮은 유속으로 인하여 다양한 크기의 어류가 이용할 수 있는 것으로 나타났으나 실제로 이용 종수 및 개체수는 국내에 설치된 다른 어도와 비교하여 매우 적은 것으로 확인되었다. 이는 백제보 자연형 어도의 유인효과의 부족이 큰 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 자연형 어도의 경우 다른 타입의 어도와 비교하여 어도내 어류 유인율이 낮게 나타나는데(Bunt *et al.*, 2012), 이는 어도의 경사가 완만하기 때문이다. 낮은 경사는 어도 입구부의 유속을 감소시키며, 이는 어류를 어도 입구로 유인하는 효과를 감소시킨다(Moser *et al.*, 2000; Larinier *et al.*, 2005). 백제보 자연형 어도는 경사가 1/200으로 국내에서 현재까지 보고된 어도 중 가장 경사가 완만하다. 또한 조사기간 내 어도의 유입유량이 설계 시 유량인 1.3 CMS 보다 매우 적은 0.2 CMS로 유지되고 있어서 어도의 입구부는 금강분류와 구분이 되지 않을 정도로 유속이 매우 느렸다. 이러한 느린 유속은 앞서 언급한 것과 같이 유영능력이 약한 크기가 작은 종 및 개체들에 대해서 어도를 이용할 수 있게 해주는 장점을 제공한다. 반면 느린 유속이 어도 입구부까지 유지될 경우 어도의 유인효과가 감소될 수 있으며, 이로 인하여 백제보 자연형 어도 어류 이용율이 낮아졌을 가능성이 존재한다. 백제보 자연형 어도의 유인효과의 경우 추가적인 검증을 통해 정확한 평가가 필요하며, 실제로 유인효과 부족으로 인하여 어도의 이용율이 감소되었을 경우 어도의 구조적인 개선을 통해서 유인효과를 증대시켜 줄 필요성이 있다. 특히 입구부의 경사를 조절하거나, 출구부 수심을 변경하여 유입유량을 증가시키는 등 부분적인 구조 변경을 통해서 직접적으로 입구부 유속을 증가시킬 수 있다. 또한 어도의 구조를 변경하지 않고도 유인수로를 건설하는 등 간접적으로 유인효과를 증가시킬 수 있으나 이 경우 보다 많은 비용이 소요될 수 있기 때문에 이를 고려하여 선택할 필요가 있다.

자연형 어도는 다양한 어종에 있어서 이동통로로서의 기능을 제공할 뿐만 아니라 잠재적으로 유수역을 선호하는 생물에 대해서 서식처를 제공한다(Pander *et al.*, 2013). 반면 본 연구를 포함한 대부분의 연구가 이동통로로서의 효율을 평가하는데 그치고 있다. 서식처로서의 기능은 구조물 건설로 인하여 변화된 하천의 생태학적 온전성(ecological integrity)을 증가시킬 수 있기 때문에 매우 중요하다. 따라서 백제보 자연형 어도에 대해서도 이동통로로서의 기능을 확인하는 데 그치지 않고 서식처로서의 기능까지 추가로 연구가 이루어질 경우 자연형 어도의 복합적인 기

능을 이해하고 관리하는 데 있어서 큰 도움이 될 것이다.

## 적 요

최근 들어 다양한 어종이 이용할 수 있는 자연형 어도가 한국에 다수 건설되고 있지만 건설된 어도에 대한 어류 이용 현황에 대한 모니터링은 제한적으로 이루어지고 있다. 본 연구는 백제보에 건설된 자연형어도에 대해서 어류 이용 현황 및 특징을 파악하기 위해서 2013년 4월부터 10월까지 월 1회 이상 어도 출구부에 일각망을 설치하여 어도를 이용하는 어류를 채집하였다. 또한 어도를 이용할 수 있는 잠재적인 어류를 확인하기 위해서 백제보 하류(금강 본류)의 어류상을 조사하였다. 조사결과 어도를 이용한 어류는 총 2과 10종으로 본류에서 채집된 어종의 64%가 어도를 이용하는 것으로 나타났다. 어도 주요 이용어종은 땃경 모치였으며, 눈볼개와 끄리 역시 어도를 다수 이용하였다. 가장 많은 개체가 이용한 시기는 8월로 나타났으며, 이는 수온과의 양의 상관성을 보였다(Spearman rank correlation,  $r_s=0.743$ ,  $P=0.035$ ). 어도 이용개체의 전장 범위는 39 mm~550 mm로 다양한 크기의 어류가 어도를 이용하였으며, 시간대별 어도 이용 특성을 분석 한 결과 해가 없는 야간, 일출 시간대(20:00~08:00)에 어도를 주로 이용하는 것을 확인하였다. 백제보 자연형 어도는 금강에 설치된 다른 어도와 비교하여 이용어종의 다양성 및 개체수가 빈약하게 나타났다. 이는 어도의 구조적인 문제로 인한 유인효과가 부족하기 때문에 나타난 결과로 판단되며, 따라서 유인효과를 증가시킬 수 있는 방안 마련이 필요하다. 이러한 결과는 백제보 자연형 어도의 운영 및 관리에 도움이 될 뿐만 아니라 국내 실정에 적합한 자연형 어도를 개발 및 건설하는 데 있어서 기초자료로 사용 될 수 있을 것이다.

## 사 사

본 연구는 금강 유역 관리위원회의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

## REFERENCES

- Agostinho, A.A., L.C. Gomes, D.R. Fernandez and H.I. Suzuki. 2002. Efficiency of fish ladders for neotropical ichthyofauna. *River Research and Applications* **18**: 299-306.

- Bretón F., A.B.M. Baki, O. Link, D.Z. Zhu and N. Rajaratnam. 2013. Flow in nature-like fishway and its relation to fish behaviour. *Canadian Journal of Civil Engineering* **40**: 567-573.
- Bunt, C.M., T. Castro-Santos and A. Haro. 2012. Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration. *River Research and Applications* **28**: 457-478.
- Choi, J.W. and K.G. An. 2014. The Evaluations of Fish Survival Rate and Fish Movements using the Tagging Monitoring Approach of Passive Integrated Transponders (PIT). *Journal of Environmental Science International* **23**: 1495-1505.
- Clay, C.H. 1994. Design of fishways and other fish facilities. Lewis Publishers, Florida.
- Jonsson, N. 1991. Influence of water flow, water temperature, and light on fish migration in rivers. *Nordic Journal of Freshwater Research* **66**: 20-35.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. Freshwater fishes of Korea. Kyo-Hak Publishing Co. Seoul.
- Larinier, M., M. Chanseau, F. Bau and O. Croze. 2005. The use of radio telemetry for optimizing fish pass design, p. 53-60. *In: Aquatic Telemetry: Advances and Applications* (Spedicate, Lembo M.T., G. Gerd and M. Gerd, eds.). Proceedings of the Fifth Conference on Fish Telemetry Held on 9-13 June 2003, Ustica, Italy.
- Lee, J.W., J.D. Yoon, J.H. Kim, S.H. Park, S.H. Baek, J.H. Yoon and M.H. Jang. 2015. Efficiency analysis of the ice harbor type fishway installed at the Gongju Weir on the Geum River using traps. *Korean Journal of Environmental Biology* **33**: 75-82.
- Lucas, M.C. and E. Baras. 2001. Migration of freshwater fishes. Blackwell Science, Oxford.
- Mallen-Cooper, M. and I.G. Stuart. 2007. Optimising Denil fishways for passage of small and large fishes. *Fisheries Management and Ecology* **14**: 61-71.
- Moser, M.L., A.M. Darazsdi and J.R. Hall. 2000. Improving passage efficiency of adult American shad at low-elevation dams with navigation locks. *North American Journal of Fisheries Management* **20**: 376-385.
- Nelson, J. 1994. Fishes of the world. Wiley, New York.
- Northcote, T.G. 1998. Migratory behaviour of fish and its significance to movement through riverine fish passage facilities. Fish migration and fish bypasses, Fishing News Books, Oxford.
- Pander, J., M. Mueller and J. Geist. 2013. Ecological functions of fish bypass channels in streams: migration corridor and habitat for rheophilic species. *River Research and Applications* **29**: 441-450.
- Parasiewicz, P., J. Eberstaller, S. Weiss and S. Schmutz. 1998. Conceptual guidelines for nature-like bypass channels, p. 348-362. *In: Migration and fish bypasses* (Jungwirth, M., S. Schmutz and S. Weiss, eds.). Fishing News Books, Oxford.
- Porcher, J.P. and F. Travade. 2002. Fishways: biological basis, limits and legal considerations. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* **364**: 9-20.
- Reyes-Gavilán, F.G., R. Garrido, A.G. Nicieza, M.M. Toledo and F. Brana. 1996. Fish community variation along physical gradients in short streams of northern Spain and the disruptive effect of dams. *Hydrobiologia* **321**: 155-163.
- Roscoe, D.W. and S.G. Hinch. 2010. Effectiveness monitoring of fish passage facilities: historical trends, geographic patterns and future directions. *Fish and Fisheries* **11**: 12-33.
- Rosenberg, D.M., F. Berkes, R.A. Bodaly, R.E. Hecky, C.A. Kelly and J.W. Rudd. 1997. Large-scale impacts of hydroelectric development. *Environmental Reviews* **5**: 27-54.
- Santos, J.M., M.T. Ferreira, F.N. Godinho and J. Bochechas. 2005. Efficacy of a nature-like bypass channel in a Portuguese lowland river. *Journal of Applied Ichthyology* **21**: 381-388.
- Stuart, T.A. 1962. The leaping behavior of salmon and trout at falls and obstructions. Department of Agriculture and Fisheries for Scotland, Freshwater and Salmon Fisheries Research, His Majesty's Stationery Office 28, Edinburgh, Scotland.
- Ward, D.L., O. Eugene Maughan, S.A. Bonar and W.J. Matter. 2002. Effects of temperature, fish length, and exercise on swimming performance of age-0 flannelmouth sucker. *Transactions of the American Fisheries Society* **131**: 492-497.
- Webb, P.W. 1998. Entrainment by river chub *Nocomis micropogon* and smallmouth bass *Micropterus dolomieu* on cylinders. *The Journal of Experimental Biology* **201**: 2403-2412.
- Yang, H.J., K.H. Kim and J.D. Kum. 2001. The Fish Fauna and Migration of the Fishes in the Fish Way of the Nakdong River Mouth Dam. *Korean Journal of Limnology* **34**: 251-258.
- Yoon, J.D., J.H. Kim, G.J. Joo, J.W. Seo, H. Pak and M.H. Jang. 2011. Freshwater Fish Utilization of Fishway Installed in the Jangheung Dam. *Korean Journal of Limnology* **44**: 264-271.