

## Trap을 이용한 공주보 아이스하버식 어도의 효과분석

이진웅 · 윤주덕<sup>1</sup> · 김정희<sup>2</sup> · 박상현 · 백승호 · 윤조희<sup>3</sup> · 장민호\*

공주대학교 생물교육과, <sup>1</sup>공주대학교 생물자원연구센터  
<sup>2</sup>국립생태원 기초생태연구본부, <sup>3</sup>국립환경과학원 금강물환경연구소

## Efficiency Analysis of the Ice Harbor Type Fishway Installed at the Gongju Weir on the Geum River using Traps

Jin-Woong Lee, Ju-Duk Yoon<sup>1</sup>, Jeong-Hui Kim<sup>2</sup>, Sang-Hyeon Park, Seung-Ho Baek,  
Jo-Hee Yoon<sup>3</sup> and Min-Ho Jang\*

*Department of Biology Education, Kongju National University, Gongju 314-701, Korea*

<sup>1</sup>*Biological Resource Center, Kongju National University, Gongju 314-701, Korea*

<sup>2</sup>*Bureau of Basic Ecological Research, National Institute of Ecology, Seochongun 325-813, Korea*

<sup>3</sup>*Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Okcheon 373-804, Korea*

**Abstract** - To overcome the stream fragmentation and blockage of migration of fishes by dams and weirs, fishways are commonly installed. However, limited studies were conducted for effectiveness and suitability of fishways installed in Korean streams. In this study, we investigated fish usages (by time periods, locations and months) of the Ice Harbor type fishway installed in the Gongju weir using traps. The monitoring were monthly conducted from June to October, 2012. The number of individuals which used fishway in September and October decreased than in June to August. Although no statistical significance was identified, many numbers of species and individuals were occurred at the trap installed at the left end of fishway than others. Fishes of more diverse size classes occurred at this trap as well. The number of collected individuals and water level of weir were positively correlated though they showed low correlation coefficient. Conversely, occurrence rate of fishes smaller than 70 mm of total length decreased with increasing water level of weir. fishway usage time of fish were different depends on ecological characteristics of each species. Various sizes of fishes can use fishway for their upstream migration. These results are useful for establishing management and evaluation plans of Ice Harbor type fishway in S. Korea.

**Key words** : Ice Harbor type fishway, Gongju weir, migration, efficiency

\* Corresponding author: Min-Ho Jang, Tel. 041-850-8285,  
Fax. 041-850-8842, E-mail. [jangmino@kongju.ac.kr](mailto:jangmino@kongju.ac.kr)

## 서 론

세계적으로 산업혁명 이후 각 나라들은 수자원 확보, 관개 및 홍수조절 등 인간의 필요에 따라 댐 및 보와 같은 각종 인공구조물들을 지속적으로 건설하였다. 그러나 흐르는 하천을 막는 인공구조물들은 어류의 이동 제한(Lariniere 2001; Joy and Death 2001), 서식처 변화(Poff *et al.* 1997; Poff and Hart 2002), 생물다양성 감소(Liermann *et al.* 2012)와 같은 다양한 문제를 야기하였다. 이에 대해서 인간은 수생생물이 이동할 수 있는 어도(fishway)를 건설하여 이러한 문제들은 최소화시키고 하천의 연결성을 확보하기 위해 노력하고 있다.

외국의 경우 과거부터 어도를 다수 설치하였을 뿐만 아니라 어도 효율성 평가(Stuart and Mallen-Cooper 1999; Stuart and Berghuis 2002; White *et al.* 2011) 및 개선방안(Bunt 2001; Rodríguez *et al.* 2006; Santos *et al.* 2014)과 같은 연구를 통해 어도의 효율을 높이기 위해 노력하였다. 이에 반해 국내의 경우 어도에 대한 관심이 외국에 비해 늦게 시작되었다. 2010년 한국농어촌공사에서 시행된 어도 전수조사에 의하면 국내 하천에 건설된 인공구조물에 대한 어도의 설치 비율이 약 15%로 확인되었으며 이중 66%가 파손, 퇴적 등의 문제로 이동통로로서의 기능을 하지 못하고 있는 것으로 조사되었다(MOF, 2013). 국내의 어도 관련 연구는 수리·물리학적 연구(Ahn *et al.* 2012; Seong *et al.* 2013), 어도 이용 어류 연구(Yang *et al.* 2001; Yoon *et al.* 2011; Kang *et al.* 2012; Han *et al.* 2012; Choi *et al.* 2013; Park and An 2014) 등 상당히 제한적으로 시행되었으며, 대부분 2000년 이후에 다수 이루어졌다. 특히 어도의 효율성과 관련된 연구는 그 사례가 많지 않다. 농림축산식품부에서는 2010년 농림축산식품부령으로 내수면어업법이 개정되면서 하천의 흐름을 차단하는 인공구조물 설치 시 어도 설치를 의무화하였으며 이에 따라 어도와 관련된 연구는 계속 증가될 전망이다.

Katopodis (1992)는 어도의 형태를 계단식(Pool and weir), 버티컬 슬롯식(Vertical slot), 데닐식(Danil)으로 분류하였다. 이중에서 계단식 어도는 가장 고전적인 전면월류형 풀(Pool)타입의 어도이며, 이후 본 어도의 단점을 개선하여 개발된 어도가 아이스하버식 어도(Ice Harbor type fishway)이다. 아이스하버식 어도는 월류부와 비월류부로 구성되어 있으며, 월류부는 어도 내 유량이 균일하여 어류가 상류로 소상하는 공간이며 비월류부는 어류가 휴식할 수 있는 공간이다. 이는 또한 월류

부에 잠공(Orifices)을 추가하여 저서성 어종의 이동을 도와주는 구조로 발전하였다. 국내 어도 설치현황에서 아이스하버식 어도는 2010년까지 총 8%의 설치비율을 나타냈으나, 2010년 이후 현재까지 설치율이 25%로 증가하여 최근에 많이 건설되는 어도 중 하나이다(국가어도정보시스템, www.fishway.go.kr). 아이스하버식 어도는 미국에서 개발된 어도로 주로 회유성 어류인 연어과를 대상으로 만들어졌기 때문에 국내 서식어류를 대상으로 했을 때 효율성이 좋지 않을 가능성이 있다. 어도의 건설로 인해 단순한 의미로 하천연결성이 증가될 수 있으나 해당 어도를 이용할 어류를 대상으로 효율성이 검증되지 않는다면 큰 의미가 없을 수 있다. 아이스하버식 어도의 경우, 최근 국내 하천에 적용된 어도를 대상으로 수리학적 특성분석과 현장적용에 대한 연구가 이루어졌다(Kim *et al.* 2004; Jun *et al.* 2006; Ahn *et al.* 2012; Han *et al.* 2012; Park and An 2014). 하지만 증가하는 설치율에 비해 국내 아이스하버식 어도의 효과 및 효율성 평가와 관련된 연구는 상당히 적다. 따라서 본 연구는 공주보에 설치되어 있는 아이스하버식 어도를 대상으로 trap을 이용하여 시기별, 시간대별, 어도 위치별 어류 이용 효과를 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지 개황

충청남도 공주시 웅진동에 위치한 공주보는 4대강 사업의 일환으로 2009년 착공되어 2012년 금강본류에 준공된 인공보이며 공주보 상류에는 세종보, 하류에는 백제보가 위치해있다. 공주보는 높이 7m, 길이 280m로 좌안에는 복합형어도, 우안에는 아이스하버식 어도가 건설되었다. 공주보 우안에 건설된 아이스하버식 어도는 우리나라 하천 특성을 고려하여 기존 아이스하버식 어도의 높이를 변화시킨 조립식 월류형 블록과 비월류형 블록으로 구성되어있으며 블록간의 결합을 통해 풀(pool)이 형성되는 구조이다(Fig. 1). 아이스하버식 어도 옆에는 소형 소수력발전소가 설치되어 있다.

### 2. 어도 모니터링

공주보 아이스하버식 어도를 통해 소상하는 모든 어류를 채집하기 위해 trap(넓이 1m×높이 1m×폭 0.7m; 망목 4mm)을 제작하여 어도 출구(폭 6m)에 설치하였다. 어도 우안부터 좌안까지(어도 우안, 1번~어도 좌

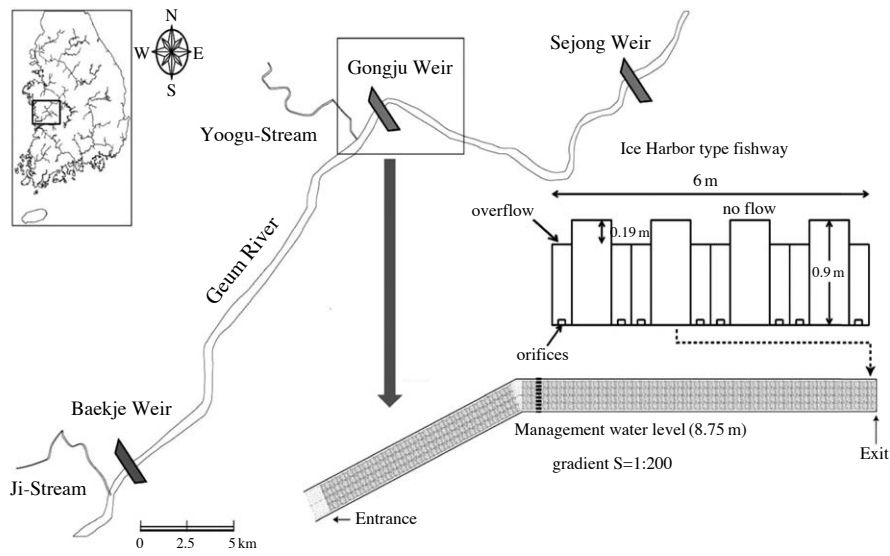


Fig. 1. Map of the study site and structure of fishway installed at the Gongju weir.

안, 6번) 총 6개의 trap을 설치하여 어도 위치별 어도 이용 차이를 분석하였다. trap을 설치할 때 어도 출구를 전면 차단하여 설치 이전부터 어도에 존재했던 개체가 아닌 온전히 어도를 이용하여 상류로 소상한 개체가 채집 되도록 trap을 설치하였다. 2012년 6월부터 10월까지 각각 월 1회 24시간 모니터링을 실시하였다. 또한 모니터링 진행 시 시간대별 어류의 어도 이용 정도를 파악하기 위해 총 4개의 시간대 A time (04~08시, 4시간, 해가 뜨는 시간대), B time (08~16시, 8시간, 낮 시간대), C time (16~20시, 4시간, 해가 지는 시간대), D time (20~04시, 8시간, 밤 시간대)로 구분하여 모니터링 하였다. 채집된 어류들은 Kim and Park (2002)을 이용하여 현장에서 동정하였고 전장 (total length, mm), 무게 (total weight, g)를 측정 후 보 상류에 방류하였다.

### 3. 자료분석

Trap별 소상어류의 종수 및 개체수 차이를 비교하기 위해 비모수검정인 Kruskal-Wallis test를 이용하여 분석하였으며 시간별 분석에서는 Kruskal-Wallis test를 이용하였다. 공주보 아이스하버식 어도는 조절식 수문이 존재하지 않아 어도 내 유량이 전적으로 상류수위에 의존하고 있다. 상류수위가 높아지면 유속 및 유량이 증가한다. 따라서 상류수위와 trap에 채집된 어류의 상관관계를 선형회귀분석으로 분석하였다. 본 연구에서 실시된 모든 분석은 SPSS 18.0 (SPSS Inc., IL, USA)를 이용하여 시행하였다.

## 결 과

### 1. 시기별 모니터링

5회의 모니터링에서 총 4과 21종 1,114개체의 어류가 trap에 포획되었다 (Table 1). 누치 (*Hemibarbus labeo*)가 35.6%의 상대포부도로 우점종으로 출현하였으며, 참물개 (*Squalidus chankaensis tsuchigae*)가 28.5%로 아우점하였다. 이외 끄리 (*Opsariichthys uncirostris amurensis*, 15.1%)와 피라미 (*Zacco platypus*, 7.1%), 모래무지 (*Pseudogobio esocinu*, 5.9%)가 전체의 5% 이상의 출현율을 보였다. 조사기간 동안 모든 시기에 채집된 종은 없었으나 3회 이상 trap에 채집되어 상류로의 소상이 확인된 종은 누치, 끄리, 피라미, 모래무지, 강준치 (*Erythroculter erythropterus*) 총 5종이었다. 6월 1차 조사에서는 총 2과 7종 419개체가 출현하였으며 참물개와 끄리가 각각 우점 및 아우점 하였다. 저서성 어종은 모래무지와 대농갱이 (*Leiocassis ussuriensis*) 총 2종이 출현하였다. 7월 2차 조사에서는 총 3과 14종 159개체가 출현하였으며 끄리와 강준치가 각각 우점 및 아우점 하였다. 저서성 어종은 모래무지와 동자개 (*Pseudobagrus fulvidraco*) 총 2종이 출현하였으며, 생태계교란종인 블루길 (*Lepomis macrochirus*) 1종이 출현하였다. 8월 3차 조사에서는 총 4과 12종 280개체가 출현하였으며 누치와 모래무지가 각각 우점 및 아우점 하였다. 저서성 어종은 모래무지, 돌마자 (*Microphysogobio yaluensis*), 땃경모치 (*Microphysogobio jeoni*), 눈동자개 (*Pseudobagrus koreanus*), 밀어 (*Rhinog-*

**Table 1.** Monthly fish fauna of the Ice Harbor type fishway at the Gongju weir

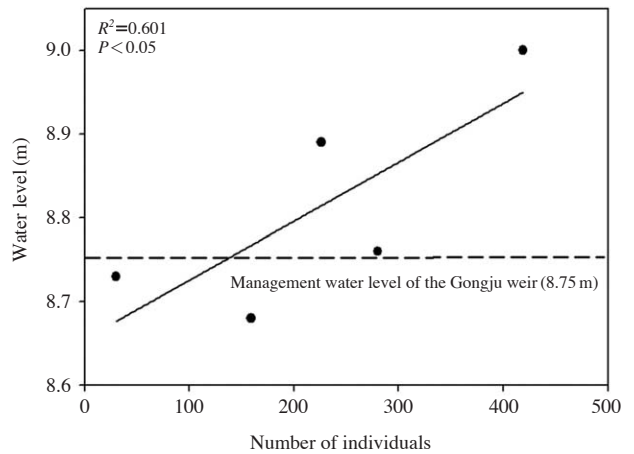
Scientific name	June	July	August	September	October	Total
<b>Cyprinidae</b>						
<i>Cyprinus carpio</i>			1			1
<i>Carassius auratus</i>		1				1
▲ <i>Carassius cuvieri</i>		2				2
<i>Pungtungia herzi</i>		1				1
<i>Gnathopogon strigatus</i>		2				2
※ <i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>	292	26				318
<i>Hemibarbus labeo</i>		1	143	30	223	397
<i>Hemibarbus longirostris</i>		1				1
<i>Pseudogobio esocinus</i>	3	7	55		1	66
※ <i>Microphysogobio yaluensis</i>			1			1
※ <i>Microphysogobio jeoni</i>			3			3
<i>Zacco platypus</i>	18	19	42			79
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	101	44	23			168
<i>Squaliobarbus curriculus</i>		11				11
<i>Erythroculter erythropterus</i>	3	41	2		2	48
※ <i>Hemiculter eigenmanni</i>	1		4			5
<b>Bagridae</b>						
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>		1				1
※ <i>Pseudobagrus koreanus</i>			1			1
<i>Leiocassis ussuriensis</i>	1					1
<b>Centrarchidae</b>						
▲ <i>Lepomis macrochirus</i>		2	4			6
<b>Gobiidae</b>						
<i>Rhinogobius brunneus</i>			1			1
Number of individuals	419	159	280	30	226	1,114
Number of species	7	14	12	1	3	21

※, Endemic species; ▲, Exotic species.

*bius brunneus*) 등 총 5종이 출현하였으며 생태계교란종인 블루길 1종이 출현하였다. 9월 4차 조사에서는 누치 30개체만 출현하였다. 10월 5차 조사에서는 총 1과 3종 226개체가 출현하였으며 누치가 대부분을 차지했다. 저서성 어종은 모래무지 1종만 출현하였다. 전반적으로 6~8월보다 9~10월에 어도를 이용하는 종 및 개체가 감소하였다. 조사시기의 상류수위와 어도 이용 개체수간의 선형회귀분석 결과, 상류수위와 채집된 소상 어류 개체수는 양의 상관성을 나타내고 있었다 ( $R^2=0.601$ ,  $P<0.05$ , Fig. 2). 그리고 일평균 상류수위가 증가할수록 전장 70 mm 이하 소형개체들의 출현율이 감소하는 경향을 보였다 (상류수위 8.68 m : 출현율 13.2%, 상류수위 8.76 m : 출현율 1.8%, 상류수위 8.89 : 출현율 0%, 상류수위 9.0 m : 출현율 0.7%).

**2. 시간대별 모니터링**

시간대별 어도를 이용하는 어류의 종수는 통계적으로 차이가 없었으나 (Kruskal-Wallis test,  $P>0.05$ ), 개체수의 경우 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다 (Kruskal-Wallis test,  $P<0.05$ ). A time, D time 보다 B time, C time에서 더



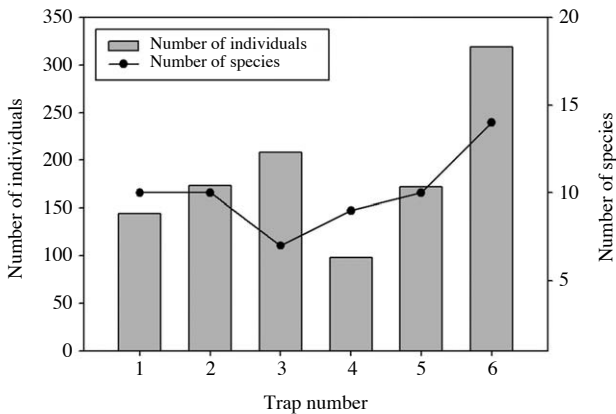
**Fig. 2.** Relationship between collected number of individuals and upstream water levels.

많은 개체가 소상하였다 (Table 2). 출현 어종별 어도 이용 시간을 보면, 참물개와 강준치는 모든 시간대에 어도를 이용하였으나 C time에 가장 많은 개체가 어도를 이용하였다. 누치와 모래무지도 모든 시간대에 어도를 이용하였으나 B time에 가장 많은 개체가 어도를 이용하

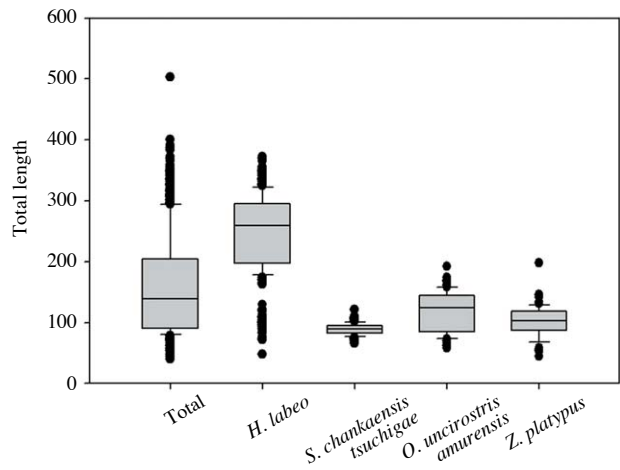
**Table 2.** Fish occurrences of the Ice Harbor type fishway by time periods

Scientific name	A (04~08)	B (08~16)	C (16~20)	D (20~04)	Total
<b>Cyprinidae</b>					
<i>Cyprinus carpio</i>				1	1
<i>Carassius auratus</i>			1		1
▲ <i>Carassius cuvieri</i>		1	1		2
<i>Pungtungia herzi</i>		1			1
<i>Gnathopogon strigatus</i>		1	1		2
※ <i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>	7	64	246	1	318
<i>Hemibarbus labeo</i>	22	218	122	35	397
<i>Hemibarbus longirostris</i>		1			1
<i>Pseudogobio esocinus</i>	2	40	20	4	66
※ <i>Microphysogobio yaluensis</i>	1				1
※ <i>Microphysogobio jeoni</i>	2			1	3
<i>Zacco platypus</i>	2	62	15		79
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	1	154	13		168
<i>Squaliobarbus curriculus</i>			9		11
<i>Erythroculter erythropterus</i>	1	2	39	6	48
※ <i>Hemiculter eigenmanni</i>	2	2	1		5
<b>Bagridae</b>					
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>				1	1
※ <i>Pseudobagrus koreanus</i>				1	1
<i>Leiocassis ussuriensis</i>				1	1
<b>Centrarchidae</b>					
▲ <i>Lepomis macrochirus</i>		5	1		6
<b>Gobiidae</b>					
<i>Rhinogobius brunneus</i>	1				1
Number of individuals	41	551	469	53	1,114
Number of species	10	12	12	10	21

※, Endemic species; ▲, Exotic species.



**Fig. 3.** Number of individuals and species collected by each traps (1 trap, right side of the fishway; 6 trap, left side of the fishway).



**Fig. 4.** Length distribution of captured fishes (total and four dominant species) by traps in the Ice Harbor type fishway.

였다. 끄리와 피라미의 경우 B time에 많은 개체가 어도를 이용하였으나 D time은 이용하지 않았다. 야행성 어종으로 알려져 있는 눈동자개, 대농갱이, 동자개의 경우 밤 시간대인 D time만 어도를 이용하였다.

### 3. 어도위치별 모니터링

6개 trap 위치별, 채집된 종 및 개체수의 통계적 차이는 확인되지 않았다 (Kruskal-Wallis test,  $P > 0.05$ ). 하지만 전반적으로 어도 좌안에 설치된 6번 trap에서 14종

319개체가 채집되어 1~5번 trap보다 많은 종 및 개체가 출현하였다(Fig. 3). Trap에 우점적으로 채집된 종들의 개체크기(전장)는 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Kruskal-Wallis test,  $P < 0.05$ , Fig. 4). 전체적으로 trap에 채집된 어류의 전장범위는 40~503 mm로 나타났으며, 그 중 평균전장이 가장 큰 종은 244 mm(전장범위 : 48~373 mm,  $SD \pm 66.1$  mm)인 누치와 평균전장 214.1 mm(전장범위 : 158~503 mm,  $SD \pm 79$  mm)인 강준치로 나타났다. 많은 수가 채집된 참물개의 경우 평균 전장이 88.7 mm(전장범위 : 66~122 mm,  $SD \pm 8.8$ )로 확인되었다. 채집된 어류 중 전장이 가장 작은 어류는 밀어, 줄물개로 각각 40 mm를 나타냈으며, 돌마자도 55 mm로 크기가 작지만 어도를 이용하는 것으로 확인되었다.

## 고 찰

어류의 이동은 포식압, 계절, 어류의 연령, 먹이 유용성 또는 동일종 내 경쟁, 산란 및 생식, 수온, 유량 등에 영향을 받는다(Helfman 1993; Pettersson *et al.* 2001; Reebbs 2002; Järvalt *et al.* 2005; Prchalová *et al.* 2006; Mitchell and Cunjak 2007; Prchalová *et al.* 2010). 특히 수온의 감소는 어류에 있어 생리적, 물리적 제약을 제공하여 어류 활성 및 이동이 줄어든다(Brodersen *et al.* 2011; Weber *et al.* 2013). 환경부 물환경정보시스템(www.water.nier.go.kr)에 의하면 월별 공주보의 평균수온이 6~8월 23~27°C, 9~10월 19~23°C로 나타났다. 따라서 수온이 상승하는 6월부터 8월까지 다수의 종 및 개체가 아이스하버식 어도를 통해 상류로 소상했으며, 반면 수온이 하강하는 9월부터 10월에는 이용 종 및 개체가 감소한 것으로 판단된다. 수온 이외에 유속 및 유량 등 어도의 수환경 역시 어류의 어도 이용에 영향을 미칠 수 있다. 어도 내 흐르는 유량이 부족하면 어류가 소상하기 위한 기본적인 매개자 역할을 제한하며, 유량이 지나치게 많을 경우 어류가 유속을 견딜 수 없으므로 어도로 소상하는 어류가 감소한다(Barry and Kynard 1986; Bunt 2010; Silva *et al.* 2011; Bretón *et al.* 2013). 상류수위에 따라 어도 내 유량이 결정되는 공주보 아이스하버식 어도의 경우 상류수위가 공주보 관리수위 8.75 m보다 높을 때 많은 어류가 어도를 통해 상류로 소상한 경향을 보였다. 하지만 상류수위가 높아질수록 어도 내 유입유량이 증가되어 크기가 작은 개체(전장 70 mm 이하)의 소상에 부정적 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 공주보 아이스하버식 어도의 경우 관리수위(8.75 m)를 유지할 때 작

은 개체부터 큰 개체까지 다양한 크기의 어류가 상류로 소상할 확률이 높은 것으로 판단된다. 결과적으로 시기에 따른 수위조절을 통해 어도의 목적에 맞는(예: 산란기 수위를 높여서 큰 개체들의 이동을 증가시킴) 어류 이동에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

어류의 일주기 활성은 일반적으로 해가 뜨는 시간대와 지는 시간대에 높고, 야간에는 낮은 패턴을 보인다(Olin and Malinen 2003; Vašek *et al.* 2009; Prchalová *et al.* 2010). 공주보 하류에 서식하는 어류의 경우 A time, D time보다 B time, C time에 많은 개체가 소상하여 높은 활성을 보였다. 하지만 야행성 어종으로 알려진 등자개, 눈동자개, 대농갱이의 경우 야간에만 채집되었고 피라미, 끄리 등 주행성으로 알려진 어류는 대부분 주간에 우점적으로 채집되었다. 따라서 시간대별 어도 내 어류의 이동은 종별 습성과 밀접한 관련을 갖는 것으로 사료된다.

외국의 경우 대다수 경제성 어종이자 회유성 어종인 뱀장어, 연어, 송어 등과 같은 어류들의 이동을 주 목적으로 어도를 건설하였다(Lucas and Baras 2001). 우리나라의 경우 유럽이나 미국에 비해서 회유성 어종인 송어나 연어의 비율이 낮지만 하천생태계의 연결성을 회복하고 고유종 보호와 종 다양성 보존을 위해 많은 어도가 건설 중이다. 이러한 어도 건설 시 어류의 생태적인 측면(활동시기, 유영능력 등)은 가장 먼저 고려해야 할 중요한 요소 중 하나이다(Clay 1995). 공주보 아이스하버식 어도의 경우 특정종을 목표로 어도를 건설하지 않았기 때문에 다양한 종이 어도를 이용할 수 있어야 한다. 본 연구는 모니터링 기간이 길지 않았기 때문에 공주보 아이스하버식 어도의 이용 효과에 대한 포괄적인 평가결과를 도출하기에는 어려움이 있었다. 하지만 크기가 작은 개체부터 큰 개체까지 상류로 소상이 가능하여 다양한 크기의 어류가 공주보 아이스하버식 어도를 이용하는 것으로 나타났으며, 공주보 상류수위에 따라 어도 이용률이 변할 수 있다는 것을 확인하였다. 또한 종별 생태특성에 따른 시간대별 어도 이용에 대한 결과가 다양하게 도출되었다. 향후 전수조사를 바탕으로 어도 효과를 평가하는 trap방법을 보완하기 위해서, 어종별 어도 통과시도 및 시간을 파악하여 어도 효율을 분석하는 PIT(passive integrated transponders) telemetry 방법을 병행하여 해당 어도의 효과 및 효율분석을 실시할 필요가 있다. 본 연구결과는 공주보 아이스하버식 어도 및 다양한 어도들의 운영에 기초 자료로 이용될 수 있으며, 특히 국내에서 새롭게 건설된 아이스하버식 어도의 평가에 도움이 될 것으로 판단된다.



## 적 요

댐과 보의 건설로 인한 하천의 단절 및 어류의 이동 문제를 해결하기 위해 다수의 어도를 건설하고 있다. 하지만 이에 대한 어도 효율성 평가나 적합성에 대한 연구는 상당히 제한적으로 이루어지고 있다. 따라서 본 연구는 2012년 6월부터 10월까지 매달 1회씩 trap을 이용하여 공주보에 설치된 아이스하버식 어도에서 시기별, 시간대별, 어도 위치별 어도 이용 차이를 분석하였다. 연구 결과, 6~8월보다 9~10월에 어도를 이용하는 종 및 개체가 감소하였다. 그리고 어도 좌안 측면이 통계적으로 유의하지 않지만 많은 종 및 개체가 출현하였고, 또한 다른 위치보다 다양한 크기의 개체들이 출현하였다. 상류수위와 채집된 소상 어류 개체수는 양의 상관성을 나타내고 있었다. 그러나 일평균 상류수위가 증가할수록 전장 70 mm 이하 소형개체들의 출현율이 감소하는 경향이 나타났다. 어도 내 시간대별 이동은 종별 생태적인 특성에 따라 차이를 보였다. 전체적으로 크기가 작은 개체부터 큰 개체까지 다양한 크기의 어류가 어도를 이용했다. 이러한 결과는 국내에 건설된 아이스하버식 어도 관리 및 평가에 도움이 될 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 금강 유역 관리위원회의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

- Ahn SS, SI Lee and ZS Lee. 2012. Analysis of hydraulic characteristics in ice-harbor fishway. *KENSS* 21:1395-1406.
- Barry T and B Kynard. 1986. Attraction of adult American shad to fish lifts at Holyoke dam, Connecticut river. *N. Am. J. Fish. Manag.* 6:233-241.
- Bretón F, ABM Bak, O Link, DZ Zhu and N Rajaratnam. 2013. Flow in nature-like fishway and its relation to fish behaviour. *Can. J. Civ. Eng.* 40:567-573.
- Brodersen J, A Nicolle, PA Nilsson, C Skov, C Brönmark and LA Hansson. 2011. Interplay between temperature, fish partial migration and trophic dynamics. *Oikos* 120:1838-1846.
- Bunt CM. 2001. Fishway entrance modifications enhance fish attraction. *Fish. Manag. Ecol.* 8:95-105.
- Choi JW, CS Park, BJ Lim, JH Park and KG An. 2013. Fish passage evaluations in the fishway constructed on Seungchon weir. *KENSS* 22:215-223.
- Clay CH. 1995. *Design of Fishways and Other Fish Facilities.* Lewis Publishers, Boca Raton.
- Han JH, DG Ko, BJ Lim, JH Park and KG An. 2012. Summer patterns and diel variations of fish movements using fish trap sampling technique in the Juksan weir. *EIA* 21:879-891.
- Helfman GS. 1993. Fish behaviour by day, night and twilight. pp.49-513. In *Behaviour of Teleost Fishes.* Chapman and Hall, London.
- Järvalt A, T Krause and A Palm. 2005. Diel migration and spatial distribution of fish in a small stratified lake. *Hydrobiologia* 547:197-203.
- Joy MK and RG Death. 2001. Control of freshwater fish and crayfish community structure in Taranaki, New Zealand: dams, diadromy or habitat structure? *Freshw. Biol.* 46:417-429.
- Jun YS. 2006. Establishment present of fish-road in Kangwondo and Study to apply fish-road is ice harbor I-type. Kangwon N. Univ.
- Kang EJ, H Yang, HH Lee, KS Kim and CH Kim. 2012. Characteristics of fish fauna collected from near estuaries bank and fish-way on the bank of Naktong river. *Korean J. Ichthyol.* 24:201-219.
- Katopodis C. 1992. Introduction to fishway design. *Freshwater Institute, Central and Arctic Region, Department of Fisheries and Oceans.* p.67.
- Kim IS and JY Park. 2002. *Freshwater Fish of Korea.* Kyohak Publishing, Seoul.
- Kim JO, SH Park, JW Cho, JS Hwang, GH Jo and SJ Joh. 2004. Hydraulic model experiment for field application of ice-harbor-type precast fishway. *KSAE* 46:3-14.
- Larinier M. 2001. Environmental issues, dams and fish migration. *FAO Fisheries Technical Paper.* 45-90 pp.
- Liermann CR, C Nilsson, J Robertson and RY Ng. 2012. Implications of dam obstruction for global freshwater fish diversity. *BioScience* 62:539-548.
- Lucas MC and E Baras. 2001. *Migration of Freshwater Fishes.* Blackwell Science, Oxford. UK. 352 pp.
- Ministry of Oceans and Fisheries. 2013. Study on comprehensive management system of national fishway. MOF. Sejong.
- Mitchell SC and RA Cunjak. 2007. Stream flow, salmon and beaver dams: roles in the structuring of stream fish communities within an anadromous salmon dominated stream. *J. Anim. Ecol.* 76:1062-1074.
- Olin M and T Malinen. 2003. Comparison of gillnet and trawl

- in diurnal fish community sampling. *Hydrobiologia* 506: 443-449.
- Park CS and KG An. 2014. Fish passage assessments in the fishway of Juksan weir constructed in the downstream area of Youngsan-river watershed. *KENSS* 23:1513-1522.
- Pettersson LB, K Andersson and K Nilsson. 2001. The diel activity of crucian carp, *Carassius carassius*, in relation to chemical cues from predators. *Environ. Biol. Fish.* 61:341-345.
- Poff NL, JD Allan, MB Bain, JR Karr, KL Prestegard, BD Richter, RE Sparks and JC Stromberg. 1997. The natural flow regime. *BioScience* 47:769-784.
- Poff NL and DD 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 cypriid migration through a fishway in relation to light, water temperature and fish circling behaviour. *Int. J. River Basin Manage.* 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. *Fish. Res.* 102:291-296.
- Reebs SG. 2002. Plasticity of diel and circadian activity rhythms in fishes. *Rev. Fish Biol. Fisher.* 12: 349-371.
- Rodríguez TT, JP Agudo, LP Mosquera and EP González. 2006. Evaluating vertical-slot fishway designs in terms of fish swimming capabilities. *Ecol. Eng.* 27:37-48.
- Santos JM, P Branco, C Katopodis, T Ferreira and A Pinheiro. 2014. Retrofitting pool-and-weir fishways to improve passage performance of benthic fishes: Effect of boulder density and fishway discharge. *Ecol. Eng.* 73:335-344.
- Seong JU, JH Park, JO Kim and JC Park. 2013. Original article : Classification and assessment of fishway in the tributary of Nakdong river. *KJEE* 46:185-191.
- Silva AT, JM Santos, MT Ferreira, AN Pinheiro and C Katopodis. 2011. Effects of water velocity and turbulence on the behaviour of Iberian barbel (*Luciobarbus bocagei*, Steindachner 1864) in an experimental pool-type fishway. *River Res. Applic.* 27:360-373.
- Stuart IG and AP Berghuis. 2002. Upstream passage of fish through a vertical-slot fishway in an Australian subtropical river. *Fish. Manag. Ecol.* 9:111-122.
- Stuart IG and M Mallen-Cooper. 1999. An assessment of the effectiveness of a vertical-slot fishway for non-salmonid fish at a tidal barrier on a large tropical/subtropical river. *River Res. Applic.* 15:575-590.
- Vašek M, J Kubečka, M Čech, V Draaštk, J Mataěna, T Mrkvička and M Prchalová. 2009. Diel variation in gillnet catches and vertical distribution of pelagic fishes in a stratified European reservoir. *Fish. Res.* 96:64-69.
- Weber C, C Nilsson, L Lind, KT Alfredsen and LE Polvi. 2013. Winter disturbances and riverine fish in temperate and cold regions. *BioScience* 63:199-210.
- White LJ, JH Harris and RJ Keller. 2011. Movement of three non-salmonid fish species through a low-gradient vertical-slot fishway. *River Res. Appl.* 27:499-510.
- Yang HJ, KH Kim and JD Kim. 2001. The fish fauna and migration of the fishes in the fish way of the Nakdong river mouth dam. *KJEE* 34:251-258.
- Yoon JD, JH Kim, GJ Joo, JW Seo, H Pak and MH Jang. 2011. Freshwater fish utilization of fishway installed in the Jangheung dam. *KJEE* 44:264-271.

Received: 24 October 2014

Revised: 9 March 2015

Revision accepted: 15 March 2015