pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503 http://dx.doi.org/10.5322/JESI.2014.23.8.1513

## **ORIGINAL ARTICLE**

# 영산강수계의 죽산보에 설치된 어도에서 어류의 이동성 평가

박찬서 • 안광국<sup>\*</sup>

충남대학교 생명시스템과학대학 생명과학과

# Fish Passage Assessments in the Fishway of Juksan Weir Constructed in the Downstream Area of Youngsan-River Watershed

# Chan-Seo Park, Kwang-Guk An\*

Department of Biological Sciences, College of Biosciences and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

#### Abstract

Fish passage asssessments were conducted in the fishway at Juksan Weir, which was constructed as a four-major rivers project in the downstream area of Youngsan-River Watershed. For the research, fish-movements/migrations were analyzed for seven times from April  $\sim$  October, 2013 using an approach of fish trap-setting. Fish fauna and compositions were analyzed in the fishway, and seasonal- and diel-movement patterns were analyzed in relation to current velocity in the fishway. Also, abundances of exotic fishes such as bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus*), large-mouth bass (*Micropterus salmoides*), and white curcian carp (*Carassius cuvieri*) were monitored in the fishway. Current velocity(n = 18) in the fishway showed large variations (0.82  $\pm$  0.63 m/s) depending on the location of the fish trap-setting and this physical factor influenced the fish movements. Fish movements, based on the CPUE of individuals, in the fishway was greater in slower velocity (mean: 0.36 m/s, range: 0.10 $\sim$ 1.54 m/s) than faster velocity (mean: 1.51 m/s, range: 0.90 $\sim$ 1.90 m/s). Seasonal analysis of fish movements showed that most frequent uses (8 speices and 591 individuals, 66.2% of the total) of the fishway occurred in spring period(i.e., June). Diel movement analysis, in the mean time, showed highest in the time period of 00:00  $\sim$  3:00 am (7 species and 281 individuals, 20.9% of the total). The efficient managements in the fishway at Juksan Weir are required in relation to the hydrological regime.

Key words: Distribution, Fish community, Juksan Weir, Weir construction

#### 1. 서 론

최근 우리나라에서는 많은 소하천 및 4대강 유역의 농 업용수 및 음용수 유량 확보를 위해 중소형 보(Weir) 및 대형 인공댐을 지속적으로 건설해 왔다. 특히, 우리나라 와 같이 몬순강우 특성에 의한 계절 강우의 분포가 일정 치 않고, 농업을 기반으로 성장한 국가에서 농업용수와 식수확보라는 차원에서 강의 중 하류부에 보 건설 및 대 형 댐 건설은 수자원 확보를 위한 방안으로 고려되어왔 다(Yang 등, 2001). 최근, 우리나라에서는 4대강 정비사

Received 3 July, 2014; Revised 30 July, 2014; Accepted 18 August, 2014

\*Corresponding author: Kwang-Guk An, Department of Biological Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Phone: +82-42-821-6408 E-mail: kgan@cnu.ac.kr The Korean Environmental Sciences Society. 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, provided the original work is properly cited.

업의 일환으로 수자원 확보 및 홍수와 가뭄등과 같은 물 문제를 근본적으로 해결하고 하천공간을 합리적으로 정 비하려는 취지로 낙동강에 8개, 한강과 금강에 각각 3개, 영산강에 2개 등, 전체 16개의 인공보를 건설하였다. 이 렇게 건설된 인공보는 수체의 수리수문학적 특성(유속, 유량, 수심 등), 화학적인 특성(영양염류, 독성물질 등), 생물학적인 특성(생물종의 분포, 회유어종의 이동성 등) 에 대한 직•간접적인 생태적 기능에 영향을 주는 것으로 보고되고 있어 이에 대한 심도있는 중장기적인 모니 터링 및 연구가 시급하다.

중소형 보(Weir) 및 댐의 건설에 따른 국제적 생태평가 연구들에 따르면(Poff과 Hart, 2002; Sheer과 Steel, 2006; Han 등, 2012; Lee 등, 2013), 하천/강의 중하류부에 보혹은 댐 건설은 하천의 수리수문학적 특성 변화및 물리적 서식지에 영향을 주어 하천 내에 서식하고 있는 어류를 포함한 다양한 수생생물에게 지대한 생태학적교란요소로 작용되는 것으로 보고되고 있다. 유수생태계인 하천 및 강에 인공구조물의 건설은 1차적으로 유속, 유량, 수심, 수위, 탁도, 하상구조의 변화등과 같은 물리적인 수환경 변화를 유발하고(Hong 등 2004), 2차적으로는 화학적 수질에 영향을 주며, 3차적(최종)으로는 어류의 분포, 종구성도 및 서식에 작간접적으로 영향을 끼치는 것으로 보고되고 있다(Baxter, 1977; Harris, 1984; Mallen-Cooper 등, 1995; An 등, 2007; Park과 An, 2007; Han 등, 2012).

인공보 및 댐의 건설에 따른 하천의 연속성을 방해할 수 있는 구조물의 건설은 다양한 수생생물에 영향을 주나, 이들 중 가장 큰 영향은 어류의 이동성에 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Park 등, 2001; Nilsson 등, 2005). 특히, 물의 연계성을 단절하는 인공보와 같은 구조물은 어류가 적절한 산란장 및 피난처를 찾는데 직접적인 영향을 주는 것으로 보고되고 있다(Choi 과 An, 2008; Gleick, 2001; MOE/NIER, 2011). 이와 같이 인공보나 댐의 건설은 유수역에서 정수역으로의 서식지 환경의 변화를 1차적으로 가져오고, 이들은 어류의 서식지 이동 혹은 회유성 어류의 산란에 있어 수생태계 단절 현상을 야기하는 등 어류의 이동과 분포특성에 2차적 영향을 주는 것으로 북미 및 유럽의 환경선진국에서 보고되고 있다 (Kinsolving 과 Bain, 1993). 또한, 정수대 면적의 증가 및 수체류시간의 증가는 식물성 플랑크톤의 1차생산력

증가 혹은 조류 대발생을 수반하며, 이들은 수층의 심층 부에 용존 산소를 고갈시키는 현상을 야기하고, 이런 변 화는 궁극적으로 어류를 포함한 수생 생물에 직접적인 영향을 주는 것으로 나타났다(Park 등, 2001; Yun 등, 2003). An 등(2007)의 최근 연구에 따르면, 영산강 수계 의 하류유역에 건설된 인공 구조물들은 어류의 이동성에 일부 제약조건으로 작용하며, 생태 건강도를 악화 시키 는 요인으로 보고하였으며, 배스(외래종)와 같은 정수종 의 우점현상을 보여, 생태학적 영양단계 구조에 변화를 가져오는 것으로 보고된 바 있다.

본 연구 대상 지역인 영산강 수계에는 승촌보와 죽산 보의 2개 인공보 건설이 2011년에 완료되었다. 영산강 수계의 하류역에 건설 된 승촌보, 죽산보 및 어도 (Fishway)는 기존의 이러한 서식지 구조 특성, 이화학적 수질 특성에 대한 규명뿐만 아니라 수생 생물 중 먹이연 쇄 단계 중 최상위에 있는 어류의 분포특성, 이동성 및 어 도효율성 등에 대한 종합적인 생태 건강도(Ecological health) 평가가 절실히 요구되는 것으로 사료된다. 본 연 구의 목적은 영산강 수계의 하류부에 설치된 죽산보의 어도에서 어류 이동성 평가를 위해 계절별 이동성 특성 (Seasonal pattern), 일별 이동성 유형(Diel pattern) 및 어도의 구조적 위치에 따른 어류의 종 조성 및 이동 개체 수를 파악하여 어도 이용율을 비교 분석하는 것이었다. 또한, 어도에서 관찰되는 희귀성 어류 및 특이종의 이동 경로 및 현황을 분석하여 보 설치에 따른 생태계에 미치 는 영향을 분석하고자 하였다. 본 연구 결과는 향후 죽산 보에서 장기간의 어류의 어도 이동효율성 평가에 대한 중요한 기초자료로서 활용될 것으로 사료된다.

#### 2. 재료 및 방법

#### 2.1. 조사 대상지 현황

죽산보는 4대강 사업의 일환으로 영산강 하류역에 건설된 인공보이다. 죽산보가 건설된 영산강 수계는 전남 담양군 용면 용추봉에서 발원하여 광주광역시, 나주시등을 지나 영산강 하구언을 통하여 서해로 흐르는 강으로 유역면적 3,371.4 km, 유로연장 136 km인 우리나라 4대강 중하나이다(Choi과 An, 2008). 죽산보는 전남 나주시 다시면 죽산리(E 126° 62' 92", N 35° 06' 48")에 위치하고 있으며, 관리수위 El. 3.5 m, 보 높이 4.85 m,

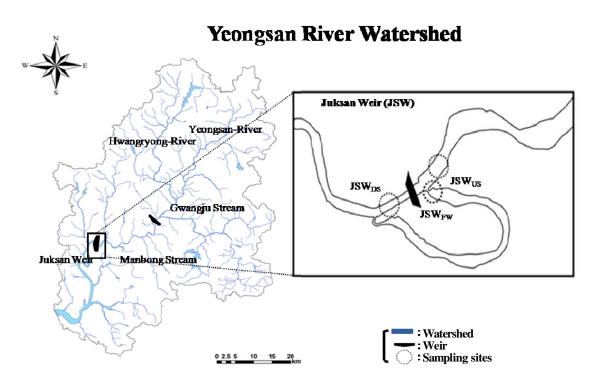


Fig. 1. The structures and demensions of fishway in Juksan Weir of Yeongsan River watershed.

보 길이 622 m, 수문형식은 셀타입 롤러게이트(Shell type roller gate) 형식을 갖추고 있는 가동보이다. 죽산보의 어도는 승촌보와는 달리 가동보에 직접 연결되어 있지 않고, 상류 우안 500 m 부근에 구하도와 연결된 조립식 아이스하버형 어도(Iceharbor-type precast fishway)가설치되어 있어 구하도를 통하여 어류가 이동할 수 있도록 건설되어 있다(Fig. 1).

## 2.2. 죽산보 어도에서의 어류 트랩(Trap) 모니터링

국산보 어도에서의 어류 모니터링은 어도에 트랩을 설치하여 현장에서 직접 채집하는 방법을 이용하였다. 조사에 사용된 트랩은 가로×세로×높이가 각각 0.8 m× 1.5 m×1.0 m인 스테인리스 스틸파이프 골조로 어도의 규격에 맞게 제작하였다. 또한, 치어를 포함한 어도를 이용하는 모든 어류가 채집이 가능하도록 나일론 재질로 구성된 그물(망목 4×4 mm)을 제작하였다. 또한, 어도를 통하여 소상하거나 강하하는 어류를 각각 측정할 수 있도록 트랩의 유인입구를 단방향으로 제작하였고, 총 3개

의 동일한 크기의 트랩을 어류 모니터링에 이용하였다. 죽산보 어도에서 트랩을 이용하여 실시한 어류 모니터링 은 2013년에 4월부터 10월까지 매달 1회씩 총 7회 실시 하였다. 트랩의 위치에 따라 채집되는 어류의 종 및 개체 가 어떤 위치에서 더 많이 이동하는지를 비교하기 위하 여 어도의 출구부근에 위치별로 트랩을 설치하여 모니터 링을 실시하였다. 또한, 시간별 이동 특성을 파악하기 위 하여, 당일 오전 9시부터 익일 오전 9시까지 총 24시간 의 조사를 원칙으로 하였고, 주간(06-18시)과 야간(18-익일 06시) 모두 3시간 간격으로 모니터링을 실시하였 다. 어류조사 외에도 어도의 월류부 및 저류부에서 유속 측정기(모델명: Gurley Precision Instruments Model 1100) 를 이용하여 각 트랩이 설치된 구간의 유속(Velocity)을 측정 하였고, 다목적수질측정기(YSI Sonde 6600)를 이 용하여 이 • 화학적 수환경 상태를 분석하였다. 어류 동 정은 Kim과 Kang(1993), 및 Kim과 Park(2002)에 의 거하여 연구에 필요한 분류학적 주요 형질을 조사한 후 방류하였으며, 일부 동정이 불확실하거나 정밀 분석이

필요한 종은 10% 포르말린 용액에 고정한 후 실험실에서 동정 및 분류하였다.

#### 2.3. 통계분석

어도를 이용하는 어류의 종수 및 개체수가 조사시간 및 구간별 차이가 있는지를 분석하기 위하여 자료를 대 별하여 통계분석을 실시하였다. 자료의 통계처리는 SPSS(Version 18.0 KO for windows, 2011) 통계패 키지를 이용하여 분석하였으며, 조사 시간대 및 트랩 위치에 따른 종조성 차이를 비교하기 위하여 일원배 치분산분석(One way ANOVA)과 다중비교(Multiple Compparisons)분석을 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 죽산보 어도의 유속 분포특성

어류의 이동성 평가를 위해 1차적으로는 어도의 트랩 위치별(T<sub>r</sub>-1, T<sub>r</sub>-2, T<sub>r</sub>-3) 유속 특성을 분석하였으며, 유 속 크기는 트랩 위치에 따라 다른 것으로 나타났다(Fig. 2). T<sub>r</sub>-1의 좌측 월류부 유속은 0.98±0.75 m/s, T<sub>r</sub>-2가 설치된 중앙의 월류부의 유속은 0.79±0.59 m/s, T<sub>r</sub>-3이 설치된 우측 월류부의 유속은 0.70±0.66 m/s로서 3개구 간 평균 유속은 0.82±0.63 m/s(n=18)으로 나타나 트랩 구간별 유속의 차가 큰 것으로 나타났다. 특히 죽산보 어 도 건설 직후인 2012년 조사시 3개구간 평균 유속 0.42±0.01 m/s 보다 빠른 유속을 보이는 것으로 조사되 었다(Han 등, 2012). Choi 등(2004)과 Park 등(1999)의 연구결과에 따르면 0.5-1.0 m/s 일때 어류의 어도이동 효율성이 가장 높은 것으로 나타났으며, 0.8 m/s이하일 시 소상능력이 가장 높은 것으로 보고되었고, 1.2 m/s이 상일 경우 어류 어류가 소상할 시 종종 상류방향을 잃을 수 있는 표면류가 발생하는 것으로 보고되었다. 죽산보 어도의 경우 장마기인 8월과 9월에 1.4 m/s, 1.8 m/s로 높은 유속을 보여 일부 치어나 어종의 경우 소상하기에 부적합한 유속을 보이는 것으로 나타났다. 죽산보의 어 도에서 유속의 변화에 따른 트랩의 채집 효율성을 분석 하기 위하여 현장에서 유속측정기로 측정한 유속을 빠를 때(평균: 1.51 m/s, 범위: 0.90-1.90 m/s)와 보통일 때 (평균: 0.36 m/s, 범위: 0.10-0.54 m/s)의 상태를 비교 • 분석하였다. 유속이 빠를 때의 트랩을 이용해 채집된 어

류는 블루길(Lepomis macrochirus, RA: 64.8%), 누치 (Hemibarbus labeo, RA: 21.0%), 배스(Micropterus salmoides, RA: 5.9%), 참몰개(Squalidus chankaensis tsuchigae, RA: 5.5%) 순으로 7종 458개체가 출현하였으며, 유속이 보통일 때는 누치(Hemibarbus labeo, RA: 43.5%), 배스(Micropterus salmoides, RA: 39.0%), 밀자개(Leiocassis nitidus, RA: 9.6%), 끄러(Opsarichthys uncirostris amurensis, RA: 5.0%) 순으로 12종 888개체로서 유속에 따라 채집된 어류와 개체수의 차이를 보였다(Table 2).

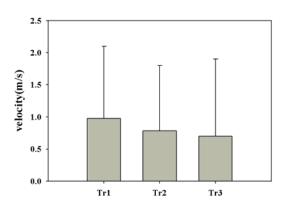


Fig. 2. Velocity according to location of  $T_r1$ ,  $T_r$  and  $T_r3$  in the fishway of Juksan weir.

#### 3.2. 죽산보 어도의 어종 구성비 및 분포특성

죽산보 어도에서 4 - 10월 기간에 실시된 트랩 모니터 링에 따르면, 채집된 어류는 14종(1,346개체)였다. 우점 종으로는 누치(Hemibarbus labeo)가 35.8% 로 가장 높은 개체 점유율을 보였으며, 배스(Micropterus salmoides) 27.7%, 블루길(Lepomis macrochirus) 22.3%, 밀자개 (Leiocassis nitidus) 6.3% 순으로 높은 점유율을 보였다 (Table. 1). 죽산보 어도 건설 직후인 2012년도 조사결과에서는 참몰개(Squalidus chankaensis tsuchigae)가 27%로 가장 높은 점유율을 보였으며, 누치(Hemibarbus labeo) 23.4%, 배스(Micropterus salmoides) 19.2%, 밀자개(Leiocassis nitidus) 14.9%의 점유율을 보여 1,2 년차의 어류모니터링 결과 종수와 개체수 측면에서 차이를 보였는데(MOE/NIER, 2011), 이와 같은 결과는 죽 산보상·하류구간 및 어도이동효율성에 대한 장기적인 모니터링을 통한 어류군집변화의 분석이 필요할 것으로 사

Table 1. Fish fauna, compositions, tolerance guilds( $TO_g$ ), and trophic guilds( $TR_g$ ) in the fishway of Seungchon Weir during April-October 2013 and some comparisons with fish data(MOE/NIER) from Fishway of juksan weir at the same period

Species	TOg	TD	This Study							TNI	D A	MOE/NIER(2011)	
		$TR_g$	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	TNI	RA	TNI	RA(%)
Cyprinus carpio	TS	О		2						2	0.1	2	0.2
Carassius auratus	TS	O	7			1				8	0.6	10	0.8
Carassius cuvieri†	TS	O	4							4	0.3		
Pseudorasbora parva	TS	O										9	0.7
Squalidus chankaensis tsuchigae*	IS	O		4	2	8		10	7	31	2.3	340	26.9
Hemibarbus labeo	TS	I	28	97	258	6	64	20	9	482	35.8	294	23.3
Zacco platypus	TS	O			2		1			3	0.2		
Opsarichthys uncirostris amurensis	TS	C	10	11	23		11			55	4.1	81	6.4
Culter brevicauda	TS	C				1				1	0.1	3	0.2
Hemiculter eigenmanni*	TS	O						1		1	0.1	4	0.3
Misgurnus mizolepis	TS	O										2	0.2
Leiocassis nitidus	TS	I	7	27	46	5				85	6.3	187	14.8
Mugil cephalus	TS	Н			1					1	0.1		
Lepomis macrochirus <sup>†</sup>	TS	I		2	1		267	19	11	300	22.3	86	6.8
Micropterus salmoides †	TS	C		88	258			19	8	373	27.7	242	19.2
Rhinogobius brunneus	IS	I										2	0.2
Rhinogobius giurinus	IS	I										1	0.1
Total Number of Species			5	7	8	5	4	5	4	13		14	
Total Number of Individuals			56	231	591	21	343	69	35	1346		1263	

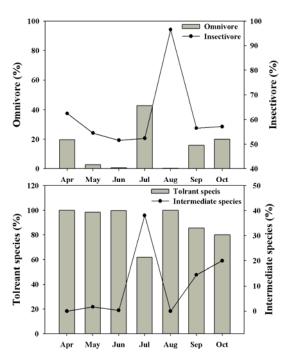
IS: Intermediate species, TS: Tolerant species, O: Omnivores, I: Insectivores, C: Canivores, TNI: Total number of individuals, RA: Relative abundance, \*: Endemic species, \*: Exotic species

**Table 2.** Fishway movement rates of fishes according to velocity(> 0.9 m/s, < 0.9 m/s) in the fishway of Juksan weir.

<u> </u>	Velocity of Fishway							
Species	> 0.	< 0.9 m/s						
	Total	RA(%)	Total	RA(%)				
Cyprinus carpio	2	0.2						
Carassius auratus	8	0.9						
Carassius cuvieri	4	0.5						
Squaliduschankaensistsuchigae	6	0.7	25	5.5				
Hemibarbus labeo	386	43.5	96	21.0				
Zacco platypus	2	0.2	1	0.2				
Opsarichthys uncirostris amurensis	44	5.0	11	2.4				
Culter brevicauda	1	0.1						
Hemiculter eigenmanni			1	0.2				
Micropterus salmoides	346	39.0	27	5.9				
Leiocassis nitidus	85	9.6						
Lepomis macrochirus	3	0.3	297	64.8				
Mugil cephalus	1	0.1						
Total Number of Species	12		7					
Total Number of Individuals	888		458					

RA: Relative abundance

료된다. 어류의 트랩 모니터링에서 출현한 한국고유종으 로 참몰개(Squalidus chankaensis tsuchigae, RA: 2.3%)와 치리(Hemiculter eigenmanni, RA: 0.1%) 2종 이 출현하였으며, 외래종은 배스(Micropterus salmoides) 27.7%, 블루길(Lepomis macrochirus) 떡붕어(Carassius cuvieri) 3종이 53.0%로 높은 상대풍부도를 보여 죽산보 어도 건설 직후 조사결과(27.3%, 26.0%)에 비하여 한국 고유종은 급격히 감소하였고 외래종은 2배 증가한 것으 로 나타났다. 이와 같은 외래종의 어도 이용 증가는 정수 역으로 변한 죽산보 상부와 하부에서 개체수 증가에 더 큰 역할을 할 것으로 사료되어 향후 이들 증가에 대한 대 책 마련이 필요할 것으로 사료되었다. 어도를 이동하는 어류의 오염 내성도에 따른 생태지표의 분석(TOg)에 따 르면, 민감종은 어도를 이용하지 않는 것으로 나타났으 며, 내성종이 97.7%로 나타나 내성종의 우점현상이 뚜 렷한 것으로 나타났다. 한편, 트로픽특성 분석(TR₂)에 따 르면, 잡식종(O)은 3.6%, 충식종(I)은 64.4%, 육식종(C) 은 31.9%로 나타나 충식종(I)의 우점 현상을 보이는데. 이는 죽산보 어도의 빠른 유속으로 인하여 체장이 커 빠



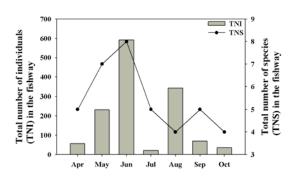
**Fig. 3.** Analyses of tolerance guilds and trophic guilds in the fishway of Juksan Weir.

른 유속에서도 유영할 수 있는 누치의 비율이 높고, 외래 종인 블루길(Lepomis macrochirus)의 경우 체장 2.5 cm 이하의 작은 치어로서 소상하여 올라오기보다는 빠른 유속에 의하여 영산강 본류에서 출구 수문을 통하여 어도내로 떠내려 내려온 것으로 사료된다(Fig. 3).

# 3.3. 어도에서 어류이동에 대한 계절 변이

#### (Seasonal Variation)

축산보 어도에서 채집된 어종의 조사 시기별 어종출현 양상의 비교·분석에 의하면, 최대 종수 및 개체수는 6월 조사(8종, 591개체)에서 나타났다(Fig. 4). 6월 조사의 경우, 장마 전으로 유량과 유속이 어류가 소상하기에 가장 적합한 물리적 수환경 상태를 유지하고 있으며, 이시기에 출현한 어종들은 대부분이 6-7월에 산란을 하는 어종으로 국소적으로 주변 지류들로 어류들이 이동하기 때문인 것으로 사료된다(Han 등 2012; Harvey, 1991; Fausch 과 Young, 1995). 장마전인 4월-6월 조사시 11종 878개체가 출현하였으며, 장마기간인 7-8월 조사시에 8종 364개체, 장마 이후인 9-10월 조사시 5종 104개체가 출현하였으며, 6월에 가장 많은 어종이 어도를 이용하는 것으로 분석되었다. 이는 집중강우에 따른 유속과유량의 증가와 급격한 수온 저하가 어류의 소상에 큰 영향을 미친 것으로 사료된다.



**Fig. 4.** Variation of fish species and compositions in relation to seasons of the trap sampling.

# 3.3. 어도에서 어류이동에 대한 일주기 변이

(Deal Variation)

죽산보 어도에서 트랩모니터링 기법에 따르면, 가장 많은 어류가 채집된 시간은 24시-03시로 전체 채집된 어류 중 20.9%(281개체)가 어도를 이용하여 소상한 것으

Table 3. Diel variations of fish movements and compositions in the fishway of Juksan Weir

Species	Time Interval of Fish Movement									RA
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Total	(%)
Cyprinus carpio	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0.1
Carassius auratus	0	0	3	1	0	3	1	0	8	0.6
Carassius cuvieri <sup>†</sup>	1	0	2	0	1	0	0	0	4	0.3
Squalidus chankaensis tsuchigae*	6	0	4	10	3	1	0	7	31	2.3
Hemibarbus labeo	8	23	148	99	23	39	86	56	482	35.8
Zacco platypus	2	0	1	0	0	0	0	0	3	0.2
Opsarichthys uncirostris amurensis	4	23	18	7	0	1	0	2	55	4.1
Culter brevicauda	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0.1
Hemiculter eigenmanni <sup>*</sup>	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0.1
Micropterus salmoides †	0	0	19	25	53	129	90	57	373	27.7
Leiocassis nitidus	0	0	1	3	31	38	10	2	85	6.3
Lepomis macrochirus †	75	2	20	10	0	70	80	43	300	22.3
Mugil cephalus	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0.1
Total Number of Species	6	5	10	7	5	7	6	6	13	
Total Number of Individuals	96	50	218	155	111	281	268	167	1346	

I:  $09\sim12$  h, II:  $12\sim15$  h, III:  $15\sim18$  h, IV:  $18\sim21$  h, V:  $21\sim24$  h, VI:  $24\sim03$  h, VII:  $03\sim06$  h, RA: Relative abundance, \*: Endemic species, \*: Exotic species

로 나타났고 12-15시에 3.71%(50개체)만이 소상하여 가장 낮은 어도 이용률을 보였다(Table 3). 이는 승촌보와 죽산보 구간의 어도 건설직후 Han 등(2012) 과 Choi등(2013) 보고된 어류의 어도 이용률이 일몰직후인 18~21시를 선호하며, 트랩 모니터링 결과에서도 가장 높은

비율을 보인 자료와 다른 양상을 보이는 것으로 나타났다. 어종별로 살펴보면, 누치(Hemibarbus labeo)가 전시간대에 출현하였으며, 배스(Micropterus salmoides), 끄리(Opsarichthys uncirostris amurensis), 밀자개(Leiocassis nitidus), 블루길(Lepomis macrochirus),

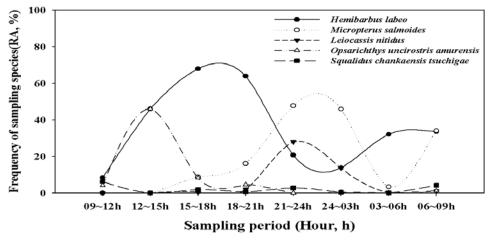
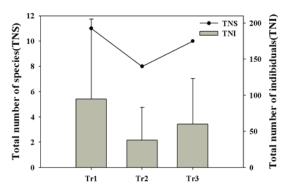


Fig. 5. The use rate of fishway by each fish species during the time period of 24 hours.

참몰개(Squalidus chankaensis tsuchigae) 순으로 출현 빈도가 높았다. 시간대 별로 살펴보면, 누치(Hemibarbus labeo)의 경우 15시-21시에 출현율이 높았으며, 외래종인 배스(Micropterus salmoides)와 블루길(Lepomis macrochirus)과 저서종인 밀자개(Leiocassis nitidus)는 해가 질무렵인 18시 이후에 이용하기 시작하여 해뜨기전 시간대에 어도를 이용한 소상율이 높은 것으로 나타나 어종별로 어도를 이용하는 시간대에서 차이가 있는 것으로 분석되었다(Fig. 5). 특히 야행성 어종인 밀자개(Leiocassis nitidus)의 경우 낮 시간대(09시-18시) 0.01%보다 해가 진후부터 해뜨기전(18시-06시) 시간대에서 96.5%의 높은 이동율을 보였다.

# 3.3. 트랩(Trap) 위치의 구조적 특성에 따른 어류이동 특성

국산보 어도에서 트랩 위치별 어종 수 및 개체수 분석에 따르면, 어도 좌측에 설치된 Tr-1은 11종 662개체, 중앙부에 설치된 Tr-2는 8종 265개체, 우측에 설치된 Tr-3은 10종 419개체가 채집되어 Tr-1에서 가장 많은 종과 개체수가 출현하였다. 또한, 각 트랩의 평균 이동현황을 살펴보면, Tr-1은 49.2%, Tr-2는 19.7%, Tr-3은 31.1%가 출현하여 양측면인 Tr-1과 Tr-3에서 상대적으로 많은 종과 개체수가 이동하는 것으로 나타나 어류가 소상하는데 있어서 상대적으로 유속이 느린 어도의 양끝을 선호하는 것으로 사료된다(Fig. 6). 트랩의 위치에 따른채집변이성에 대한 통계분석 결과에 따르면, 종수(x²=2.167, p=0.338) 및 개체수 (x²=2.822, p=0.244)모두 유의 확율이 0.05보다 큰 값을 보여 통계적으로 유의



**Fig. 6.** Fish movement in relation to the positions of fish traps in the fishway of Juksan Weir.

한 차이를 보이지 않는 것으로 분석되었다. 트랩의 위치에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았지만, 현장조사와 다른 연구문헌에 따르면(KIWE, 2008; Han 등, 2012; Choi 등, 2013) 어도의 양끝이 중간보다 어류의 어도 이용효율성이 높은 것으로 나타났으며, 트랩의 위치에 따른 차이가 있는 것으로 사료되었다.

#### 4. 결 론

어도 트랩 모니터링에 따르면, 어도를 이용하는 어종 은 총 13종(1,346개체)인 것으로 나타났다. 우점종으 로는 누치가 35.8%로 가장 높은 개체 풍부도를 보여 죽산보 어도 건설직후 조사된 우점종(참몰개(Squalidus chankaensis tsuchigae), RA: 27%)과 차이를 보여 어 도를 이용하는 어류의 분포특성의 변화를 보였다. 이는 죽산보의 상 하류구간 및 어도이동성에 대한 장기적인 모니터링을 통하여 어류군집변화의 분석이 필요할 것으 로 사료된다. 또한, 어도내의 종 다양도는 Ko 등(2012) 에 의해 보고된 상 하류구간의 종 다양도 보다 낮은 것으 로 분석되었다. 분석 결과에 따르면 죽산보 상류구간에 서 23종, 하류구간에서 27종이 채집되어 상 하류구간에 서 총 30종이 서식하는 것으로 조사되었으나, 종수 측면 에서 죽산보 상 하류 구간에서 채집된 결과와 비교 분석 하였을 때 어도 이동률은 46.7%로서 상대적으로 낮게 나타나 이 외의 어종들은 어도를 이용하지 못하는 것으 로 나타났다. 죽산보의 어도에서 유속의 변화에 따른 트 랩의 채집효율성을 분석한 결과 유속을 빠를 때(평균: 1.51 m/s, 범위: 0.90-1.90 m/s)와 보통일 때(평균: 0.36 m/s, 범위: 0.10-0.54 m/s)의 상태를 비교·분석한 결과 유속이 빠를 때 트랩을 이용해 채집된 어류는 7종 458개 체가 출현하였으며, 유속이 보통일 때는 12종 888개체 로서 유속에 따라 채집된 어류와 개체수의 차이를 보여 어도내 안정적인 유량 확보를 통하여 어도 이동률을 높 이는 것이 효과적일 것으로 사료된다. 특히, 숭어(Mugil cephalus)나 웅어(Coilia nasus)등 죽산보 하류구간에 서 채집되는 같은 이동성 어종은 어도 이동률이 현저히 떨어지거나 이동하지 않는 것으로 조사되었다. 이는 상 류부 유량확보를 위해 비정기적으로 시행되고 있는 고정 보의 방류와 어도 출구부의 수문조절은 어도내의 유속증 가로 이어져 어린 치어나 저서성 어종들의 어도 이동률 이 낮은 반면, 일부 부유성 어종과 누치, 끄리와 같이 빠른 유속에도 잘 거슬러 올라갈 수 있는 어종만이 지속적으로 출현하는 것으로 나타났다. 이와 같이 어도의 효율성을 감소시킬 수 있고, 어도의 기능을 고려하지 않은 가동보의 운영은 어류가 어도의 정확한 입구를 찾는 것을 저해할 것으로 판단된다. 따라서 향후 적절한 어도내 유량관리와 가동보와 어도 수문의 체계적인 운영관리가 어류의 어도 이동효율성을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 영산강・섬진강 수계관리위원회에서 시행한 2013년도 환경기초조사사업(연구과제명: 어도의 효율성 평가 및 개선방안)의 연구 지원으로 수행되었기에이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- An, K. G., Kim, K. I., Kim, J. H., 2007, Biological water quality assessments in wastewater-impacted and non-impacted Streams, Korean J. Limnol., 40(1), 82-92.
- Baxter, R. M., 1977, Environmental effects of dams and impounments, Annual Review of Ecology and Systematics, 8, 255-283.
- Choi, J. Y., Lee, G. J., 2004, Fish Ways at Rivers and Dams: Current Status, and Future Installation and Management, Korea Environment Institute., 65-94.
- Choi, J. W., An, K. G., 2008, Characteristics of fish compositions and longitudinal distribution in Yeongsan river watershed, Korean J. Limnol., 41(3), 301-310.
- Choi, J. W., Park, C. S., Lim, B. J., Park, J. H., An, K. G., 2013, Fish passage Evaluations in the fishway constructed on Seungchon weir, Korean J. Environ. Sci. Int., 22(2), 215-223.
- Fausch, K. D., Young, M. K., 1995, Evolutionary significant units and movement of resident stream fishes: a cautionary tale, Evolution and the aquatic ecosystem: defining unique units in population conservation, Ed. J. L. Nielson, American Fisheries Society, Symposium, 17, Bethesda, Maryland.
- Gleick, P. H. 2001, Making every drop count. Scientific

- American 284(2), 40-46.
- Harris, J. H., 1984, Impoundment of coastal drainages of south-eastern Australia, and a review of its relevance to fish migrations, Aust. Zool, 21, 235-250.
- Han, J. H., Ko, D. G., Lim, B. J., Park, J. H., An, K. G., 2012, Summer patterns and diel variations of fish movements using fish trap sampling technique in the Juksan weir, Korean J. Environ. Impact Assessment, 21(6), 879-891.
- Hong, J. S., Seo, I. S., Yoon, K. T., Hwang, I. S., Kim, C. S., 2004, Notes on the benthic macrofauna during september 1997 Namdaecheon estuary, Gangneung, Korea, Korean J. Environ. Biol., 22(2), 341-350.
- Kim, I. S., Kang, E. J., 1993, Colored fishes of Korea, Academy Publishing Co., Ltd., Seoul, Korea.
- Kinsolving, A. D., Bain, M. B., 1993, Fish assemblage recoveryalong a riverine disturbance gradient. Ecological Application, 3, 531-544.
- Kim, I. S., Park, J. Y., 2002, Freshwater fish of Korea, Kyo-Hak Publishing Co., Ltd., Seoul, Korea.
- KIWE(Korea Institute of Water and Environment), 2008, Monitoring of efficiency on the fish conservation facilities in Jangheung Dam watershed, Korea Water Resource Corporation.
- Ko, D. G., Choi, j. W., Lim, B. J., Park, J. H., An, K. G., 2012, Fish Distribution, Compositions and Community Structure Characteristics during Juksan Weir Construction in Yeongsan River Watershed, Korean J. Environ. Eco., 26(6), 892-901.
- Lee, J. H., Han, J. H., Lim, B. J., Park, J. H., Shin, J. K., An, K. G., 2013, Comparative analysis of fish fauna and community structures before and after the artificial weir construction in the mainstreams and tributaries of Yeongsan river watershed, Korean J. Limnol., 103-115.
- Mallen-Cooper, M., Stuart, I. G., Hides-Pearson, F., Harris, J. H. 1995, Fish migration in the Murray River and assessment of the Torrumbarry fishway. Final Report, NRMS Project N002.
- Nilsson, J., Gerritsen, M., Younis, R., 2005, A Novel AdaptiveAnisotropic Grid Framework for Efficient Reservoir Simulation. Paper SPE93243 presented at the SPE Reservoir Simulation Symposium, The Woodlands, Texas, 31 January-2 February.
- MOE/NIER (Ministry of Environment/National Institute

of Environmental Research), 2011, Passage route survey of migratory fishes before and after the construction of weirs and the fishway's effects. Yeongsan river environment research center, National institute of environmental research, 175pp.

- Park, H. J., An, K. G., 2007, Trophic State Index (TSI) and Empirical medels, based on water quality parameters, in Korean reservoirs, Korean J. Limnol., 40(1), 14-30.
- Park, S. B., Lee, J. Y., Jang, M. H., Kim, H. W., Jeong, J. M., Kim, J. W., Joo, G. J., 1999, Water quality and phytoplankton community dynamics in a weir reach of the Yangsan Stream (1993-1996). Korean J. Limnol., 32(4), 331-340.
- Park, L. H., Cho, Y. K., Cho, C., Sun, Y. J., Park, K. Y., 2001, Hydrography and circulation in the Yeongsan River Estuary in Summer, 2000, The Sea, Korean J.

- Society of Oceanography 6(4), 218-224.
- Poff, N. L., Hart, D. D., 2002, How dams vary and why it matters for the emerging science of dam removal, BioScience, 52, 659-668.
- Sheer, M. B. Steel, E. A., 2006, Lost watersheds: barriers, aquatic habitat connectivity, and salmon persistence in the Willamette and lower Columbia River basins, Transactions of the American Fisheries Society 135, 1654-1669.
- Yang, H. J., Kim, K. H., Kum, J. D., 2001, The fish fauna and migration of the fishes in the fish way of the Nakdong river mouth dam, Korean J. Limnol., 34(3), 251-258.
- Yun, S. T., Go, Y. G., Oh, G. H., Mun, B. C., Kim, H. G., 2003, Water quality assessment of the lower Yeongsan River System, Environmental Impact Assessment, 12(4), 259-270.