

ORIGINAL ARTICLE

수동형 전자발신장치(Passive Integrated Transponder, PIT) 모니터링 기법 적용에 따른 어종별 생존율 평가 및 어도에서 어류이동성 평가

최지웅 · 안광국*

충남대학교 생명시스템과학대학 생물과학과

The Evaluations of Fish Survival Rate and Fish Movements using the Tagging Monitoring Approach of Passive Integrated Transponders (PIT)

Ji-Woong Choi, Kwang-Guk An*

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

Abstract

The objective of this study was to evaluate survival rate and fish movement (migration) using a tagging approach of passive integrated transponder (PIT) in Juksan Weir, which was constructed as a four major river restoration projects. For this study, survival rates of each fish species and the mobility of fish individuals were analyzed during 2 weeks by the insertion of PIT tags to various fish species in the laboratory. According to tagging tests in the laboratory, the survival rate 37.5% (30 survivals of 80 individuals) after the insertion of PIT tags. The survival rate of *Carassius auratus* and *Hemibarbus labeo* was 100% and 80% after the insertion of the tags, respectively, whereas it was only 13.3% for *Zacco platypus*. In the field experiments of Juksan Weir, 6 species and 157 individuals from 8 species (563 individuals) were detected in the fixed automatic data-logging system, indicating a detection rate of 27.9% in the fishway of Juksan Weir. In the meantime, some species with no or low detection rates in the fixed automatic data-logging system were turn out to be stagnant-type species, which prefer stagnant or standing water to live.

Key words : Fishway, Juksan Weir, PIT tagging, Fish movement

1. 서론

정부에서는 불안정한 수자원의 안정적 확보, 홍수 및 가뭄과 같은 기후변화에 따른 근본적인 물 문제를 해결 하기 위하여 2008년 4대강 복원사업을 시작하였고, 낙

동강에 8개, 한강과 금강에 각각 3개, 영산강에 2개 등, 전체 16개의 인공보를 설치하였다(Park, 2010). 북미 및 유럽의 많은 환경선진국에서 수행된 인공보 및 댐 건설에 대한 연구들에 따르면, 하천에 건설된 인공보와 댐은 하천의 물리적인 특성을 변화(Gray, 1992; Allan과

Received 20 March, 2014; Revised 1 August, 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.

Flecker, 1993; Thomas, 1996) 시키고, 인공구조물의 건설 중에 발생하는 다량의 부유물은 동·식물의 성장에 큰 영향을 미친다 (Hanson과 Butler, 1994). 이런 수리수문학적 변화는 즉각적으로 1차 생산자인 부착조류 및 식물플랑크톤의 성장에 영향 (Cloern, 1987)을 미치고 최종적으로 어류의 군집특성을 변화시켜 수생태계 전반에 영향을 미친다 (Mantel 등, 2010; Mueller 등, 2011). 특히, 어류의 경우 하천에 건설된 대형 인공횡구조물(보)에 의해 이동이 단절 (Nicola 등, 1996; Joy와 Death, 2001; Bunt 등, 2011)되어 지리적 격리가 일어날 수 있으며, 소상 또는 강하불가로 인한 개체수 급감 혹은 절멸을 야기할 수 있다 (Bain과 Finn, 1988; Martinez 등, 1994). 우리나라에서는 이러한 다양한 문제들을 해결하기 위하여 수산자원보호령 제 12조 2항에 따라 인공보 건설시 생물들이 이동할 수 있는 어도를 비롯한 생태통로를 반드시 설치하도록 의무화하였다. 그러나 어도의 기능에 대한 이해와 어도를 이용하는 어종들에 대한 연구가 부족하고 지속적인 생태모니터링이 이루어지지 않고 있어 정량적인 어류의 어도 이용에 대한 연구가 필요한 실정이다.

어도에서 어류이동성 평가에 대한 정량적 분석기법 및 모니터링 기법은 연구 대상지역, 수체의 크기, 어도의 구조적특성, 조사비용 등의 다양한 특성에 따라 달리 적용되고 있다. 다양한 모니터링 기법들 중 개체군 크기의 산정 및 이동성 평가 기법중의 하나는 포획-재포획법 (Mark-Recapture method)으로 지느러미의 일부를 잘라내어 표지 (Fin clipping) 하거나 지느러미 염색을 통한 표지 등이 활용되고 있다 (Lucas와 Baras, 2001). 그 외에도 형광물질 표지법 (Visible Implant Elastomer, VIE), 방사선 동위원소를 이용한 표지, 수중음파 (Hydroacoustic), 라디오 발신기 (radio tag), 위성추적장치, 수동형 전자발신장치 (Passive integrated transponder tag; PIT tag) 등을 이용하여 어류의 이동에 대한 구체적인 연구가 비교적 활발하게 진행되고 있다 (Morhardt 등, 2000; Roussel 등, 2000; Zydlewski 등, 2001).

여러 모니터링 기법 중 인공보, 어도 및 댐 등에서 이용되는 어류의 수동형 전자발신장치 모니터링 (PIT tag) 기법은 외부수신기로부터 전기신호를 받아 고유번호를 수신기가 인식하게 하는 시스템으로 Tag 자체의 전력소비가 없어 전지교환과 같은 번거로움 없이 계속 사용할

수 있고 Tag의 감지 거리가 1 m 이하로 특정위치를 통과한 어종을 정확하게 파악할 수 있는 장점을 가지고 있다 (Morhardt 등, 2000). 또한, PIT tag의 크기는 동물에게 생리적, 행동적 장애를 주지 않을 만큼 작아서 생물체 내에 삽입이 가능하다 (Bubb 등, 2002). 그러나 Tag 감지를 위해 특수한 수신기가 필요하며 비록 저비용이지만 Tag의 회수가 거의 불가능하다는 단점도 가지고 있다 (Kenward, 2001; Lucas와 Baras, 2001). 국내의 경우, 수동형 전자발신장치 (PIT tag)를 이용한 연구는 파충류 (Lee 등, 2009) 및 일부 어류 (Jang 등, 2007; Yoon 등, 2011)를 대상으로 매우 제한적으로 이루어졌다. 특히, 어도를 이용하는 어류를 대상으로 PIT tag이 적용된 연구 사례는 거의 전무한 실정이다.

본 연구는 4대강 사업의 일환으로 건설된 죽산보에 수동형 전자발신장치 (PIT tag) 모니터링 기법을 적용하기 위하여 실험실 내에서 PIT tag 삽입에 따른 어종별 생존율을 평가하고 이를 토대로 어종별 어도 이용률을 분석하여 죽산보 어도에서의 어류이동성에 대한 평가를 실시하였다. 또한, 어도의 유속 변화에 따라 표지된 어류의 감지율을 분석하고 방류수의 유속과 어류 감지와의 연관성을 파악하여 유속이 어류의 소상에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지 개황

죽산보는 4대강 사업의 일환으로 승촌보와 함께 영산강 중류역에 건설된 인공보이다. 죽산보가 건설된 영산강 수계는 유역면적 3,371.4 km², 유로연장 136 km로서 담양군 용면에서 발원하여 담양호에 집수된 후 광주천, 황룡강, 지석천, 만봉천, 고막원천, 함평천 등의 지류가 합류하여 영산호를 지나 영산강 하구둑을 통해 서해로 흘러가는 우리나라 4대강 중 하나이다. 본 연구의 모니터링 대상지인 죽산보는 전남 나주시 다시면 죽산리 (E 126° 62' 92", N 35° 06' 48")에 위치하고 있고, 높이가 4.85 m, 길이 622 m, 관리수위 El. 3.5 m, 쉘타입의 승강식 수문 (Shell type roller gate) 형식을 갖추고 있는 기동보다. 죽산보에 설치되어 있는 어도는 폭 5 m, 길이 151.5 m, 기울기 1:20의 조립식 아이스하버형 어도 (Iceharbor-type fishway)로 구하도를 통하여 소상한 어

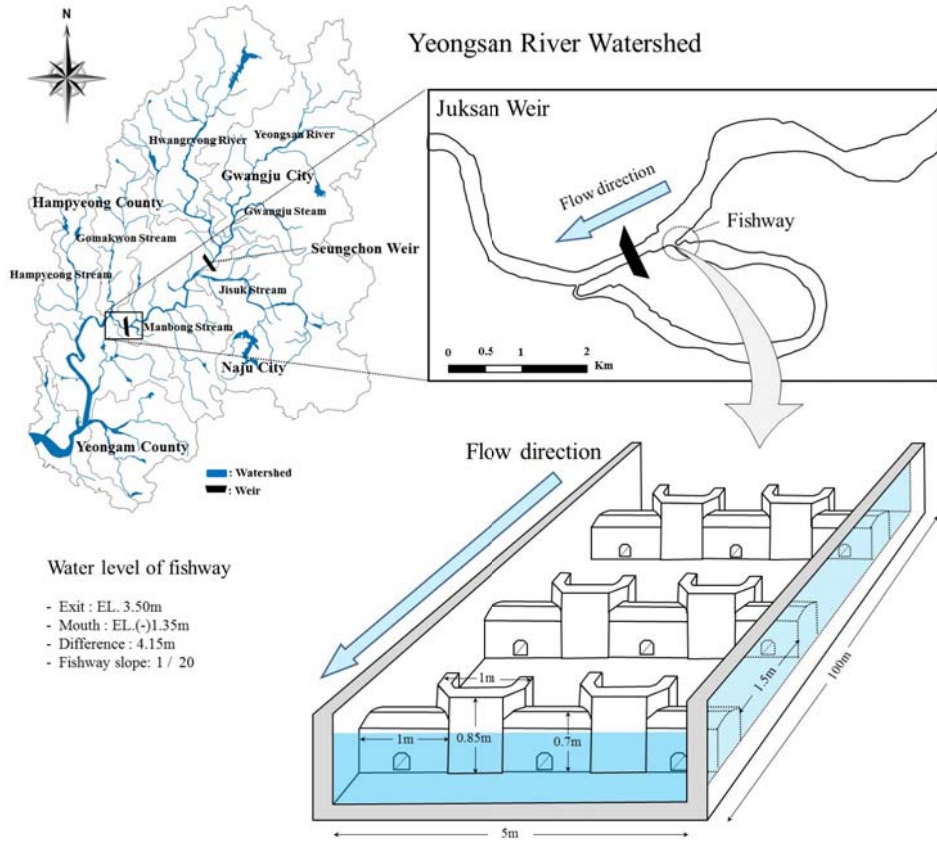


Fig. 1. The structures and dimensions of fishway in Juksan Weir of Yeongsan River watershed.

류가 영산강 본류로 이동할 수 있도록 건설되었다. 어도를 통한 어류의 소상률을 높이기 위하여 어도를 통하여 흐르는 방류수를 유인수로 이용하고 있으며, 관리수위 (EL. 3.5 m)일 경우 어도 내 유속은 0.5 - 1.0 m/s를 유지하고 있다. 또한, 유인수의 양을 조절하기 위하여 방류수가 유입되는 지점에 유압식 조절문을 설치하여 유량 및 유속을 조절하고 있다(Fig. 1).

2.2. Lab test를 통한 PIT tag 적용에 따른 생존율 평가

PIT tag 삽입에 따른 어종별 생존율을 평가하기 위하여 고리, 납자루, 누치, 붕어, 피라미 5종을 대상어종으로 선정하였고, 대전광역시 갑천에서 채집하여 충남대학교 환경생태학 실험실의 어류 사육실에 순치하였다. 각 어

종이 서식하기에 적합한 환경을 조성하기 위하여 빛 (light: 14 h, dark: 10 h)과 온도 (23°C)를 일정하게 조절하였고, 염소가 제거된 물을 지속적으로 순환시켜 물의 흐름과 사육수조(용량: 280 L) 내 산소농도(7-8 mg L⁻¹)를 유지하였다. 또한, 1일 1회 동일시간(09:00-09:30)에 독일 Tetra사의 테트라민(Tetra GmbH, D-49304 Melle, Germany)을 먹이로 공급하였다. 각 어종은 7-10일간의 적응 기간 후 PIT Tag(길이 12.5 mm, 직경 2 mm, 무게 약 0.09 g)을 각 실험 대상어류 체중의 2-5%를 넘지 않는 범위에 포함되는 개체들만 선택하여 tag를 삽입하였다. Tag이 삽입된 어류는 총 80개체로 각 개체의 세부적인 특성은 Table 1과 같다. 각 tag의 고유번호는 어류 체내 삽입 전 작동유무를 파악하기 위하여 휴대용 수신기

Table 1. Details of the total length (TL) and body weight (g) of five PIT tagged species to evaluate survival rates in the Lab test

Species	Number of tagged individuals	Total length (mm)		Body weight (g)		Number of survived individuals (%)
		Mean	SD	Mean	SD	
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	8	200.4	23.2	32.8	14.7	5 (62.5)
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	12	90.1	10.8	9.2	3.9	6 (50.0)
<i>Hemibarbus labeo</i>	10	240.5	68.8	110.1	58.7	8 (80.0)
<i>Carassius auratus</i>	5	212.4	48.1	135.4	23.6	5 (100.0)
<i>Zacco platypus</i>	45	126.7	15.8	10.2	3.7	6 (13.3)

(FS2001F-ISO Reader; Biomark, USA)를 이용하여 확인하였다. PIT Tag의 삽입은 Tag 삽입 전용장비 (Implant Gun)를 활용하여 개체 크기에 따라 가슴지느러미와 배지느러미 사이의 복부 혹은 등지느러미와 측선 사이의 근육부분에 삽입하고, 생체 접착제 (Vetbond Tissue Adhesive; 3M, USA)를 이용하여 삽입부분을 봉합하였다. 이후 회복수조에서 순치시킨 후, 생존율을 파악하기 위하여 2주 동안 매일 각 개체의 생존여부와 유영상태를 관찰하였다 (Fig. 2).

2.3. 어류 이동성 평가를 위한 PIT tag 모니터링 기법의 현장적용

PIT tag 삽입을 위한 어류의 채집은 투망(망목 7×7 mm)과 어도내 트랩 (0.8 m × 1.5 m × 1.0 m; 망목 4×4 mm)

을 설치하여 2012년 9월에 채집하였고 9-10월말까지 어도를 통한 어류의 이동을 모니터링하였다. 채집한 어류는 현장에서 Kim과 Park(2002)에 의거해 동정하였고, PIT tag 삽입을 위해 산소공급장치가 설치된 아이스박스에 순치하였다. 순치한 어류 중 출현비율이 높고 손상을 입지 않은 개체를 대상으로 표지(Tagging)를 실시하였다. 어류 체내에 tag 삽입 전 각 개체의 체장과 체중을 측정하였고, 휴대용 수신기(FS2001F-ISO Reader; Biomark, USA)를 이용하여 작동유무 및 각 tag의 고유번호를 확인하였다. 각 개체에 PIT tag를 삽입하고 일정 시간 (1시간) 정도 순치한 후 어도부 입구에 방류하였다. 표지된 개체를 감지하기 위하여 어도에 길이 80 cm, 높이 30.5 cm의 사각형 전파수신 안테나(Rectangular pass-

**Fig. 2.** Fish surgery process of PIT tag insertion.

through antenna; Biomark, USA)를 어도의 입구부와 출구부에 설치하였고, 감지된 신호는 안테나 주변에 설치되어 있는 FS2001F-ISO Reader (Biomark, USA)로 전송되어 자동으로 저장하였다. 어류조사 외에도 어도의 월류부와 비월류부의 표층과 심층의 유속 (Velocity)을 유속측정기(모델명: Gurley Precision Instruments Model 1100)를 이용하여 측정하였다.

2.4. 어종별 생존율 평가 및 어도 이용특성 분석을 위한 통계 분석

생존율 평가를 위해 PIT tag이 삽입된 개체의 전장과 생존기간 간의 관계를 분석하기 위하여 상관분석 (Correlation analysis)을 실시하였고, 어도 내에서 감지된 개체들과 감지되지 않은 개체들을 대상으로 크기 차이가 있는지를 분석하기 위하여 비모수 통계방식인 Mann-Whitney U test 분석을 실시하였다. 자료의 통계 처리는 SPSS (Version 18.0 KO for windows, 2011) 통계 패키지를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. PIT tag 삽입에 따른 어종별 생존율 평가

PIT tag 삽입에 의한 각 어종의 생존율과 개체의 운동능력의 변화정도를 평가하였다. PIT tag을 삽입하고 2주 동안 전체 80개체 중 30개체가 생존하여 37.5%의 생존율을 보였다. 가장 높은 생존율을 보인 어종은 붕어 (*Carassius auratus*)로, 한 개체도 사망하지 않고 5개체가 모두 생존하여 100%의 생존율을 보였다. 붕어 다음으로 높은 생존율을 보인 어종은 누치 (*Hemibarbus labeo*)로 10개체 중 8개체가 생존하여 80%의 생존율을 보였다. 이와 달리, 피라미 (*Zacco platypus*)는 45개체 중 6개체만 생존하여 가장 낮은 생존율(13.3%)을 보였다. 피라미의 경우, PIT tag 삽입 다음날 7개체가 사망하였고, 3일째 18개체가 사망한 후 사망개체가 꾸준히 증가하여 최종적으로 6개체만 생존하였다. 납자루 (*Acheilognathus lanceolatus*)는 2일째에 5개체가 사망하였고, 4일째 1개체가 사망한 후 사망한 개체가 없어 50.0%의 생존율을 보였고, 끄리 (*Opsariichthys uncirostris amurensis*)는 실험 2일째에 2개체, 3일째에 1개체가 사망하여 62.5%의 생존율을 보였다 (Fig. 3). 또한, 각 개

체별로 운동능력의 변화정도를 살펴본 결과, 극히 일부 개체에서 운동능력이 현저히 저하되는 것으로 나타났다. 운동능력이 저하된 개체는 Tag을 삽입하는 과정에서 신경에 손상을 입거나 삽입된 PIT tag이 개체의 크기에 비하여 커서 미병부의 움직임에 영향을 미친 것으로 사료되었다. Yoon 등(2009)의 연구에서도 누치와 끄리의 생존율은 높게 나타났고 피라미의 생존율은 낮게 나타나 유사한 결과를 보였다.

어종별 생존율은 종 특이성에 따라 생존율에 차이를 보일 수 있으나 어종에 관계없이 전장과 생존기간 간의 관계를 분석한 결과, 전장이 길수록 생존기간이 긴 것으로 나타나 전장과 생존기간은 상관성이 높은 것($r = 0.599, p < 0.001$)으로 분석되었다(Fig. 4). 또한, Acolas 등(2007)의 연구에서도 전장이 길수록 생존율과 삽입된 Tag의 유지율(Retention rate)이 높은 것으로 나타나 개체의 크기가 생존율과 밀접한 연관성이 있는 것으로 보고하고 있다. 전장이 141 mm 이상의 개체들은 중간값 (median)이 14로 나타나 실험이 종료된 시점까지 사망한 개체가 거의 없어 PIT tag의 적용이 용이한 것으로 나타났다. 특히, 끄리, 누치, 붕어 등 전장이 긴 어종들은 다른 종들에 비하여 생존기간이 긴 것으로 나타났다(Fig. 5). 또한, 전장이 91-100 mm에 해당하는 개체들의 생존기간에 대한 표준편차 값이 크게 나타났는데 이는 납자루 개체들 중 절반 이상이 실험이 종료된 시점까지 생존하여 큰 차이를 보이게 된 것으로 분석되었다. 납자루의 전장이 90 mm 이상인 개체는 성어로 같은 전장의 다른 어종 보다 감염 등에 저항력이 강한 것으로 판단되었다. 피라미는 전장의 길이에 관계없이 생존기간이 5일 이내로 매우 짧게 나타나 다른 종들에 비하여 외부자극에 의한 스트레스를 잘 극복하지 못하는 것으로 사료되었다 (Fig. 5). 또한, 상대적으로 크기가 적어 Tag을 삽입하는 과정에서 내부 장기가 손상을 입은 것으로 판단되며 이는 생존율 및 생존기간과 밀접한 연관성이 있는 것으로 사료되었다.

어종별 생존율 평가에 따르면 영산강 수계에 서식하고 있는 대부분의 어류에도 PIT tag 적용이 가능할 것으로 사료된다. 또한, 전장이 길수록 생존율이 높기 때문에 중대형 개체를 활용하는 것이 연구의 효율성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

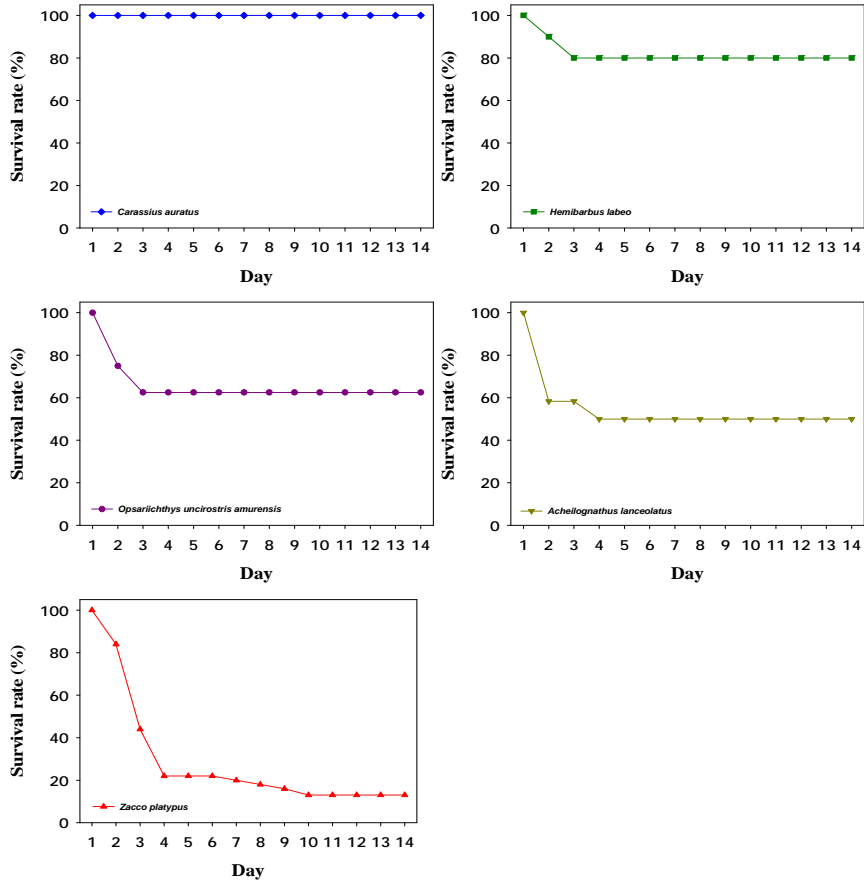


Fig. 3. Survival rates of PIT tagged fishes for 14 days.

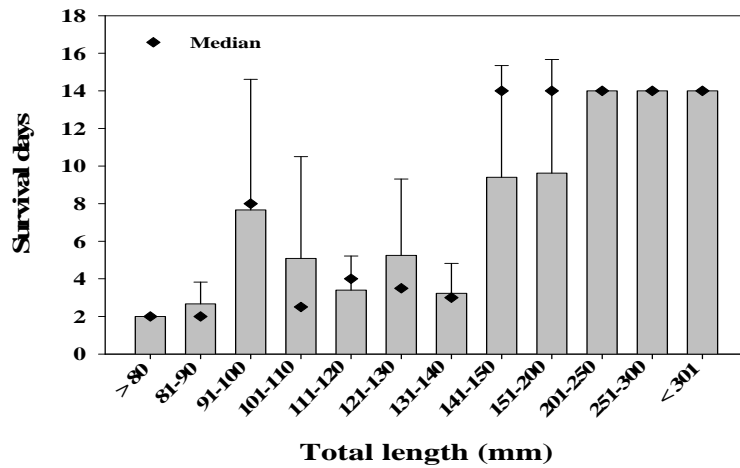


Fig. 4. Mean survival days of PIT tagged fishes along with total length (◆, Median value of survival days by each total length class).

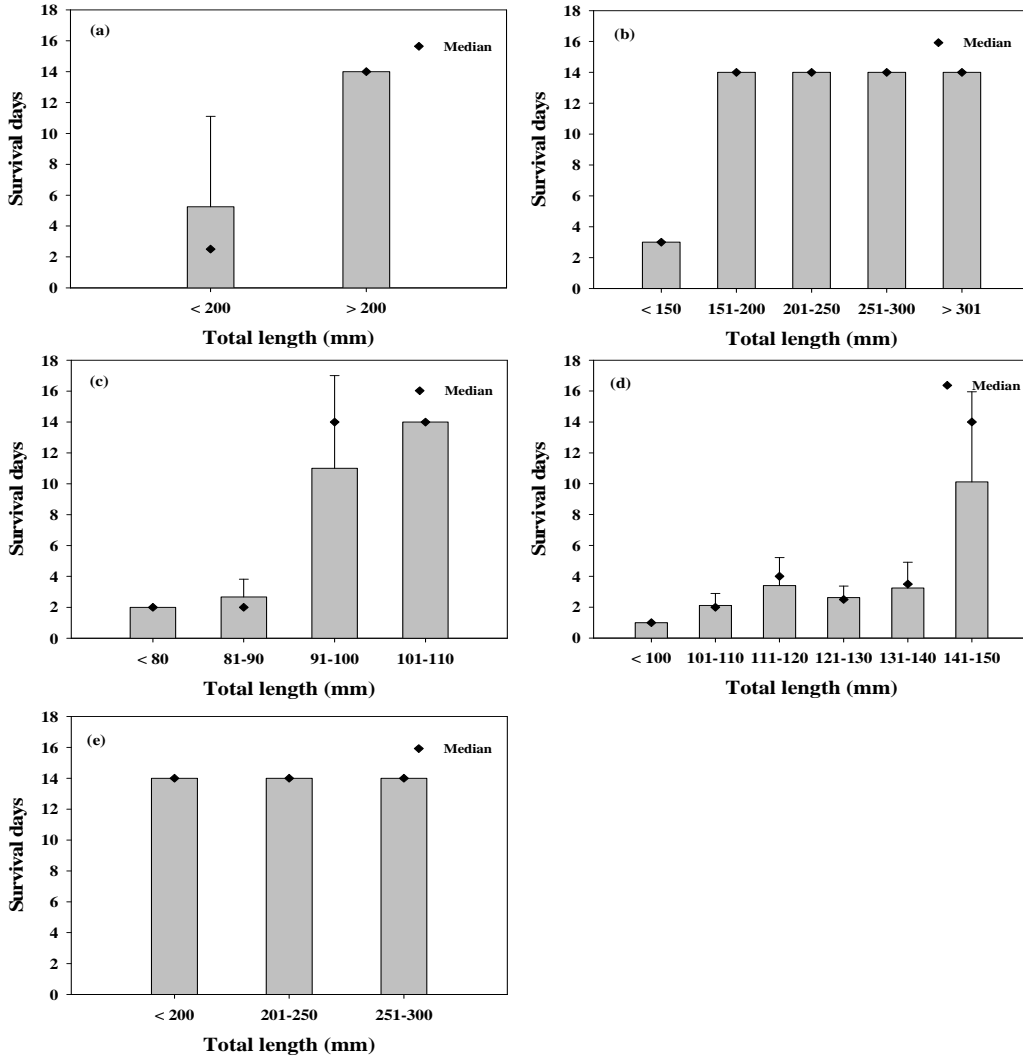


Fig. 5. Mean survival days of PIT Tagged fishes (a, *Opsariichthys uncirostris amurensis*; b, *Hemibarbus labeo*; c, *Acheilognathus lanceolatus*; d, *Zacco platypus*; e, *Carassius auratus*).

3.2. 표지 (Tagging)된 어류를 이용한 어도 모니터링

투망과 어도 내 설치된 트랩을 통하여 채집된 어류 중 8종 563개체에 표지(Tagging)를 실시하였다. 표지종은 죽산보 구하도 구간과 어도에서 채집된 어류 중 출현빈도가 상대적으로 높은 어종을 대상으로 하였고, 가장 많은 개체가 tag 된 어종은 *끄리*로 153개체가 표지(Tagging)되었다. 어종별 tag 삽입 개체수 및 어도부 출구에서 감지된 개체수와 감지율은 Table 2와 같다.

감지된 어류는 *끄리*, 참몰개, 붕어, 피라미, 누치, 모래무지 6종으로 총 157개체가 확인되어 27.9%의 감지율을 나타냈다. 가장 많은 개체가 감지된 어종은 *끄리*로 153개체 중 65개체가 안테나에 감지되어 42.5%의 감지율을 보였고, *끄리* 외에 높은 감지율을 보인 어종은 부유성 어종인 참몰개(40.2%), 빠른 유속에도 소상할 수 있는 누치(38.8%)와 같은 어종으로 나타났다. 반면, 치리, 잉어의 경우, 안테나에 한 개체도 감지되지 않아 어도를

Table 2. Detection rates and body sizes of PIT tagged fish at the fishway in Juksan Weir

Species name	Number of tagged individuals	Body size (mean±SD)		Number of detected individuals (%)
		Total length (mm)	Body weight (g)	
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	153	181.4 ± 18.9	41.1 ± 14.52	65 (42.48)
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>	127	101.6 ± 11.7	10.5 ± 12.25	51 (40.16)
<i>Carassius auratus</i>	48	146.2 ± 17.8	47.0 ± 22.94	1 (2.08)
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	32	197.1 ± 28.3	68.9 ± 28.41	0 (0.00)
<i>Zacco platypus</i>	46	124.5 ± 26.7	18.2 ± 10.81	13 (28.26)
<i>Hemibarbus labeo</i>	67	180.2 ± 35.9	45.7 ± 27.62	26 (38.80)
<i>Pseudogobio esocinus</i>	58	176.6 ± 11.4	44.2 ± 10.17	1 (1.72)
<i>Cyprinus carpio</i>	32	144.2 ± 12.5	38.3 ± 10.27	0 (0.00)
Total	563			157 (27.9)

통하여 소상하거나 강하하는 빈도가 매우 적은 것으로 판단되었다. 또한, 붕어 역시 표지된 48개체 중 1개체 (2.1%)만 확인되어 매우 낮은 감지율을 보였다. 안테나를 통하여 감지가 되지 않았거나 낮은 감지율을 보인 어종들은 대부분 정체된 수체를 선호하는 어종들로 어도

하류부에 분포하는 서식지와 산란장으로 인하여 큰 이동 없이 일부 구간에 서식하는 것으로 판단되었다(Fig. 6). 어도에 설치된 안테나를 통하여 이동이 확인된 6종의 어류 중 10% 이상 감지된 어종을 대상으로 어도에서 감지된 개체와 감지되지 않은 개체 간의 Mann-Whitney U

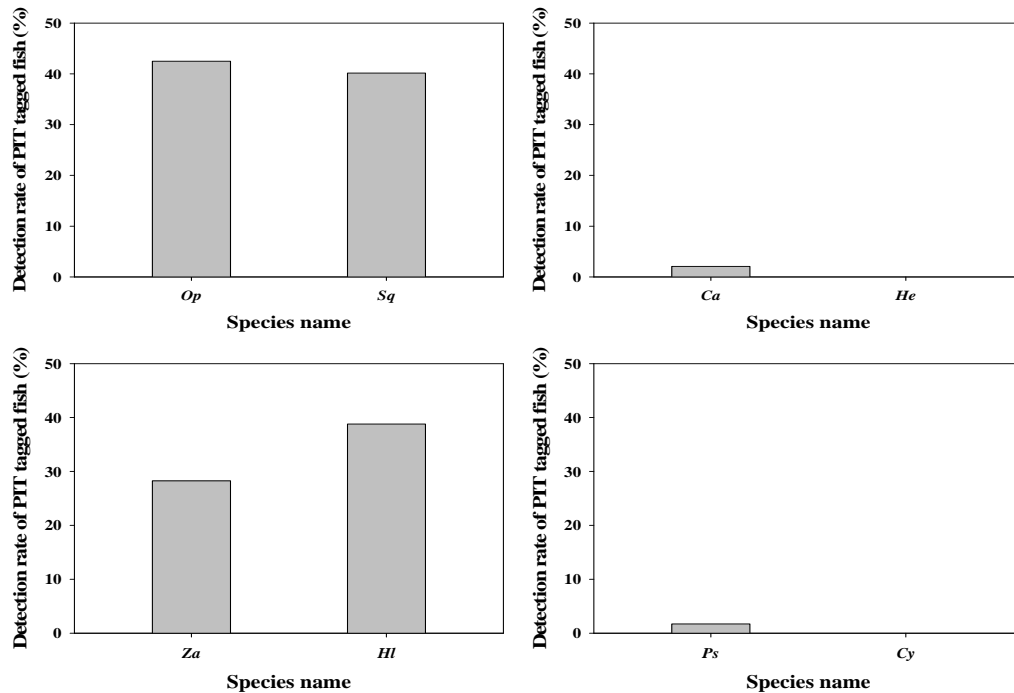


Fig. 6. Detection rates of PIT tagged fishes at the fishway in Juksan Weir (Op : *Opsariichthys uncirostris amurensis*, Sq : *Squalidus chankaensis tsuchigae*, Ca : *Carassius auratus*, He : *Hemiculter eigenmanni*, Za : *Zacco platypus*, Hl : *Hemibarbus labeo*, Ps : *Pseudogobio esocinus*, Cy : *Cyprinus carpio*).

test 결과에 따르면, 체장과 체중 모두 평균값에 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다 ($p > 0.05$).

3.3. 어도에서 유속 변화에 따른 표지된 어류의 감지율 분석

어도의 유속은 어류의 소상에 직접적인 영향을 미친다. 표지(Tagging)된 개체들도 유속이 증가함에 따라 감지되는 빈도가 낮아지는 경향을 보였고, 유속이 느린 시기에 감지빈도가 높은 것으로 나타나 유속에 따른 영향이 큰 것으로 판단되었다. 유속에 따른 신호의 감지횟수를 누적으로 분석한 결과에 따르면 유속이 0.5-0.6 m/sec 일 때 가장 많이 감지되었고, 1.5-2.0 m/sec 일 때 가장 적게 감지된 것으로 나타났다(Fig. 7). 유속이 느린 0.4-0.5 m/sec 보다 0.5 - 0.6 m/sec 일 때 표지된 개체들이 많이 감지된 것은 상대적으로 빠른 유속이 유인수로서의 역할을 한 것으로 판단된다(Clay, 1995). 유인수는 물을 거슬러 소상하는 어류에게 이동해야할 방향을 감지하게 하거나 어류를 모이게 하여 어도를 이동할 수 있게끔 유인하는 역할을 담당한다. 그러나 어도를 통하여 방류하는 유량이 상대적으로 많게 되면 유속이 증가하게 되어 어류가 물살을 거슬러 소상할 수 있는 확률이 급격하게 낮아지게 된다(Barry와 Kynard, 1986). 따라서 어류의 이동이 빈번하게 일어나는 산란기나 활동시간대를 고려하여 적절한 양을 방류한다면 더욱 많은 종과 개체들이 효율적으로 어도를 이동할 것으로 사료된다. 현재, 죽산보 어도는 0.5-1.0 m/sec의 유속을 유지하고

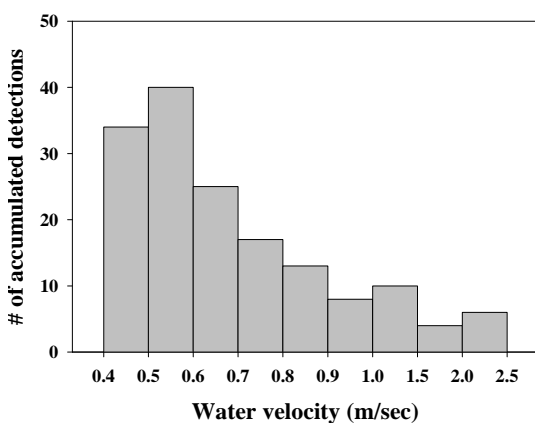


Fig. 7. The number of accumulated detections along with water velocity.

있어 어도를 이용하는 개체들이 많을 것으로 사료되거나 어도의 수문조절이 상류부 수위에 따라 자동으로 조절되는 것이 아닌 수동으로 운영되고 있는 실정인어서 야간의 급격한 수위변화는 어류의 이동성을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

PIT tag 삽입에 따른 어류의 생존율 분석을 통하여 PIT tag의 현장 적용성 여부를 평가한 결과에 따르면, 영산강 수계에 서식하는 대부분의 어종에는 PIT tag의 적용이 용이할 것으로 사료되었다. 특히, 영산강 수계의 대표적인 우점종인 누치, 끄리 및 붕어의 생존율이 높게 나타나 PIT tag를 활용하여 어류의 이동 및 어도 이용성 평가가 적합할 것으로 판단되었다. 또한, 개체의 전장이 길수록 생존율이 높은 것으로 나타나 PIT tag를 적용하기에 적합한 개체를 선정하여 PIT tag 삽입에 따른 생존율 감소와 운동능력의 저하를 예방해야할 것으로 판단되었다. PIT tag의 현장적용 시 수온이 높아 산소의 용해율이 낮은 시기 보다는 수온이 낮아 용존산소량이 높은 시기에 실시하는 것이 개체의 생존율을 증가시켜 PIT tag의 효율성을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서 PIT tag이 삽입된 어류의 어도 이용률은 27.9%로 수치적인 측면에서 높지 않게 나타났으나 국내에서 실시된 기존의 연구들(Yoon 등, 2011; MEK, 2012b)에 비하여 어도 이용률이 높은 것으로 나타났다. 그러나 트랩을 이용한 실질적인 어도 모니터링 결과에 따르면 표지(Tagging)한 개체 이외에도 다양한 어종들이 다수 채집(총 14종)되어 모니터링 기법에 따라 어류 이동성을 분석함에 있어 차이를 보이는 것으로 나타났다(MEK, 2012a). 또한, PIT tag를 활용한 모니터링의 경우, 연구 대상지에 서식하는 어종 중 일부 개체를 선정하여 표지하는 것이기 때문에 전체 개체수에 비하여 적은 개체가 표지되어 그 효율성이 상대적으로 낮게 나타난 것으로 사료된다. 따라서 연구 결과의 신뢰성을 높이기 위해 보다 많은 어종과 개체를 대상으로 표지(Tagging)를 실시해야 할 것으로 판단되며, 각 어종의 유영능력, 산란시기, 활동시기 등의 생태적 특성을 고려한 장기적인 모니터링을 실시한다면 더 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

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

참고문헌

- Acolas, M. L., Roussel, J. M., Lebel, J. M., Bagliniere, J. L. 2007. Laboratory experiment on survival, growth and tag retention following PIT injection into the body cavity of juvenile brown trout (*Salmo trutta*). *Fish. Res.*, 86(2), 280-284.
- Allan, J. D., Flecker, A. S., 1993, Biodiversity conservation in running waters, *Bioscience*, 43, 32-43.
- Bain, M. B., Finn, J. T., 1988, Streamflow regulation and fish community structure. *Ecology*, 69, 382-392.
- Barry, T., Kynard B., 1986, Attraction of adult American shad to fish lifts at Holyoke Dam, Connecticut River, *N. Am. J. Fish. Manage.*, 6, 233-241.
- Bubb, D. H., Lucas, M. C., Thom, T. J., Rycroft, P., 2002, The potential use of PIT telemetry for identifying and tracking crayfish in their natural environment, *Hydrobiologia*, 483, 225-230.
- Bunt, C. M., Castro-Santos, T., Haro, A., 2011, Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration, *River Res. Appl.*, 28(4), 457-478.
- 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.
- Clay, C. H., 1995, Design of fishway and other fish facilities, Lewis Publishers, Boca Raton.
- Cloern, J. E., 1987, Turbidity as a control on phytoplankton biomass and productivity in estuaries, *Cont. Shelf Res.*, 7, 1367-1381.
- Gray, A., 1992, The ecological impact of estuarine barrages, British Ecological Society/Field Studies Council, Shrewsbury.
- Hanson, M. A., Butler, M. G., 1994, Responses of plankton, turbidity, and macrophytes to biomanipulation in a shallow prairie lake, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 51, 1180-1188.
- Jang M. H., Yoon, J. D., Do, Y. N., Joo, G. J., 2007, Survival Rate on the Small Cyprinidae by PIT Tagging Application, *Korean J. Ichthyol.*, 19(4), 371-377.
- Joy, M. K., Death, R. G., 2001, Control of freshwater fish and crayfish community structure in Taranaki, New Zealand: dams, diadromy or habitat structure?, *Freshwater Biolo.*, 46, 417-429.
- Kenward, R. E., 2001, A manual for wildlife radio tagging, 2nd ed., Academic Press, London, UK.
- Kim, I. S., Park, J. Y., 2002, Freshwater fish of Korea, Kyo-Hak Publishing Co., Ltd., Seoul, Korea.
- Lucas, M. C., Baras, E., 2001, Migration of freshwater fishes. Blackwell Science, Oxford.
- Lee, J. H., Lee, H. J., Ra, N. Y., Kim, J. K., Eom, J., Park, D., 2009, Application of PIT tag and radio telemetry research methods for the effective management of reptiles in Korea national parks, *Korean J. Environ. Biol.*, 27(2), 146-154.
- Mantel, S. K., Muller, N. W. J., Hughes, D. A., 2010, Ecological impacts of small dams on South African rivers Part 2: Biotic response-abundance and composition of macroinvertebrate communities, *Water SA*, 36(3), 361-370.
- Martinez, P. J., Chart, T. E., Trammell, M. A., Wullschleger, J. G., Bergersen, E. P., 1994, Fish species composition before and after construction of a main stem reservoir on the White River, Colorado, *Environ. Biol. Fish.*, 40, 227-239.
- MEK(Ministry of Environment, Korea), 2012a, Passage route survey of migratory before and after the construction of weirs and the fishway's effects, National Institute of Environmental Research(NIER), Incheon, Korea.
- MEK(Ministry of Environment, Korea), 2012b, Investigations of migration pattern on migratory and freshwater fish, National Institute of Environmental Research(NIER), Incheon, Korea.
- Morhardt, J. E., Bisher, D., Handlin, C. I., Mulder, S. D., 2000, A portable system for reading large PIT tags from wild trout, *N. Am. J. Fish. Manage.*, 20, 276-283.
- Mueller, M., Pander, J., Geist, J., 2011, The effects of weirs on structural stream habitat and biological communities, *J. Appl. Ecol.*, 48, 1450-1461.
- Nicola, G. G., Elvira, B., Almodovar, A., 1996, Dams and

- fish passage facilities in the large rivers of Spain: effects on migratory species, *Arch. Hydrobiol.*, 113, 375-379.
- Park, S. T., 2010, The 4-River restoration project from the viewpoint of 21st century river management, 36(1), 72-75.
- Roussel, J. M., Haro, A., Cunjak, R. A., 2000, Field-test of a new method for tracking small fishes in shallow rivers using passive integrated transponder (PIT) technology, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 57, 1326-1329.
- Thomas, D. H. L., 1996, Dam construction and ecological change in the riparian forest of the Hadejia-Jama' are floodplain, Nigeria, *Land Degrad. Dev.*, 7, 279-295.
- Yoon, J. D., Kim, J. H., Joo, G. J., Seo, J. W., Park, H., Jang, M. H., 2011, Freshwater fish utilization of fishway installed in the Jangheung Dam. *Korean J. Limnol.*, 44(3), 264-271.
- Zydlewski, G. B., Harom, A., Whalen, K. G., McCormick, S. D., 2001, Performance of stationary and portable passive transponder detection systems for monitoring fish movements, *J. Fish Biol.*, 58, 1471-1475.