

연구논문

죽산보의 어도에서 트랩 샘플링 기법을 이용한 하절기, 일주기별 어류 이동성 평가

한정호* · 고대근* · 임병진** · 박종환** · 안광국*

충남대학교 생명시스템과대학 생물과학과*, 국립환경과학원 영산강물환경연구소**

(2012년 10월 15일 접수, 2012년 11월 6일 승인)

Summer Patterns and Diel Variations of Fish Movements Using Fish Trap Sampling Technique in the Juksan Weir

Jeong-Ho Han* · Dae-Geun Ko* · Byung Jin Lim** · Jong-Hwan Park** · Kwang-Guk An*

Department of Biological Science, College of Biological Sciences and Biotechnology, Chungnam National University,
Daejeon 305-764, Korea*, Yeongsan River Environmental Research Center, Gwangju 500-480, Korea**

(Manuscript received 15 October 2012; accepted 6 November 2012)

Abstract

The objective of this study was to evaluate seasonal patterns and diel variations of fish movements in the Juksan Weir which was constructed in 2010 at the down-stream of Yeongsan-River watershed. For this study, we monitored day-and-night movement(24 Hr cycle) and seasonal fish migration(June ~ August) patterns in 2011 along with species compositions and abundances depending on the locations of the traps within the fishway. Total number of species sampled was 14 and the total number of individuals was 1,263 with only the size-fractions(as total length) of the fish < 20 cm during the study. Seasonal analysis of fish movement in the fish way showed that highest frequency in the movement occurred in June - July, which is closely associated with a spawning peak season. The most dominant species using the fishway was *Squalidus chankaensis tsuchigae*, and this species turned out to be 26.9% of the total in the use rate of fishway. Daily monitoring of fish movements showed that most frequent movements occurred between 18:00 PM and 21:00 PM when the fish have a feeding time generally. The migratory fish were not found in the fishway during the study. Mean current velocity during the study $0.42 \pm 0.02 \text{ ms}^{-1}$ (n = 42), and there were no significant statistical differences ($p > 0.05$) among the daily and monthly velocities in the fishway. The use rate of fish passage, in terms of fish species, was 48%, compared with total sampling of fish species(29 species) at the down-

river regions during the same period, indicating a low use rate. Further continuous long-term monitoring should be conducted to evaluate the impacts of the weir construction in the river.

Keywords : Fish fauna, Seasonal migration, Diel movement, Fishway, Juksan Weir.

1. 서 론

최근 우리나라에서는 많은 소하천 및 4대강 유역의 농업용수 및 음용수 유량 확보를 위해 중소형 보(Weir) 및 대형 인공댐을 지속적으로 건설해 왔다. 특히, 우리나라와 같이 몬순강우 특성에 의한 계절 강우의 분포가 일정치 않고, 농업을 기반으로 성장한 국가에서는 하천 및 강의 중·하류역에 보의 건설 및 식수확보라는 생존적 문제로 인하여 대형 댐 건설은 수자원 확보를 위한 필수 불가결한 요소가 되었다(양홍준 등, 2001). 이러한 수자원의 불균등 수급 및 홍수와 가뭄 등과 같은 물 문제를 근원적으로 해결하고 하천공간을 합리적으로 정비하려는 취지로 2008년에 공식 결정되어 4대강 사업이 시작되었다(박수택, 2010). 4대강 사업은 4대강 유역에 수자원 확보하기 위하여 낙동강에 8개, 한강과 금강에 각각 3개, 영산강에 2개 등, 전체 16개의 인공보를 설치하여 되었으며, 담수를 위하여 보가 설치되는 유역 주변과 4대강에 5억 7천만 m^3 를 준설하는 등 해당 생태계에 직·간접적으로 영향을 미치고 있다.

현재 전 세계적으로 이러한 댐이나 저수지, 인공보 건설은 하천 및 호수의 생태계 파괴현상은 널리 보고되어 왔다. 미국의 경우 워싱턴주에 위치한 스네이크 강(Snake river)과 컬럼비아 강(Columbia river)에서 바다로 소하하는 어린 연어(Juvenile salmon)의 95%가 댐이나 인공보 등과 같은 장애물을 건너지 못해 사멸하고 있는 것으로 보고되었으며, 뉴잉글랜드와 유럽 전역에 설치된 900여개 이상의 댐/보들로 인해 대서양연어(Atlantic salmon)는 산란장으로 회귀하지 못하고 결국 전체 개체군의 1%이하만 살아남았다는 역사적 기록도 있다(Gleick, 2001; 정은희 등, 2006). 뿐만 아니라 중앙아시아의 아랄해로 유입되는 지류하천인 아무 다리아 강(Amu Darya river)과 시르 다리아 강

(Syr Darya river)은 면(Cotton) 생산 촉진을 위한 관계 용수공급을 위해 물길을 바꿈으로서 결국 아랄해가 자체가 사라지면서 이곳에만 서식하던 24종의 어류들은 절멸해 버린 보고(Gleick, 2001; 박창규, 2006)와 같이 다각적인 문제점이 발견되고 있는 실정이다.

국내에서도 댐이나 보 건설로 인하여 발생하는 많은 문제점들이 보고되어 왔다. 특히 영산강 하구둑이 설치된 보로 인하여 기존에 출현이 확인되었던 9 여종의 회유성 어종이 보 건설 후 단 2종으로 감소한 것 보고되어 하구둑 설치로 인한 이동성 단절효과를 입증하고 있다(최기철, 1989; 최지웅과 안광국, 2008a). 또한 영산호의 경우, 외래종의 우점, 생태계 교란에 따른 기형어종 및 사체의 빈도 증가 등으로 인한 생물학적 건강성 평가 지수가 매우 낮게 나타나고 있는데, 결국 이러한 환경 변화들은 영산강 수계내의 어종 구성 및 영양단계구조에 변화를 가져왔고, 궁극적으로 수생태계의 건강성을 악화시키는 요인으로 작용하게 되었다(최지웅과 안광국, 2008b). 따라서 현재 영산강 수계의 하류역에 건설 중인 승촌보, 죽산보 및 어도(Fishway)는 기존의 이러한 이화학적 수질, 퇴적물 축적, 어류 이동성 및 어류 종 분포특성 및 종합적 생태 건강도(Ecological health)등에 다각적인 영향을 끼칠 것으로 사료된다.

환경 선진국인 미국의 스킵킬 강(Schuylkill river) 및 세인트조셉 강(St. Joseph river)에 건설된 댐으로 인하여 어류의 이동이 단절되자 다양한 어도를 건설하였고, 어도 하부에 관찰창을 설치하여 디지털 비디오를 이용한 모니터링을 실시하고 있다. 어도를 이용하는 어류는 관찰 창을 통해서 바로 확인이 가능하며, 수중 관찰실에 마련되어 있는 디지털 비디오 관리시스템은 동작탐지기능이 내장되어 있어 어도를 통해 이동하는 어류의 모습을 촬

영하고, 어류학자들이 비디오를 통해서 각각의 어류를 계수하고 어떠한 종류의 어류들이 서식하는지 연구를 진행하고 있다(서울시정개발연구원, 2007). 일본에서는 보, 댐, 하구언 등 각 수공 구조물에 어류의 휴식공간을 최대한 살리고 수심에 따라 변화되는 유속을 제공함으로써 유영력과 도약력이 다양한 여러 어종에 적합하도록 되어있는 풀형식, 수로형식 등 다양한 어도가 설치되고 있고, 이러한 어도를 이용하는 어류의 종조성 및 개체수의 변화 특성을 분석하기 위해서 미국의 댐들과 마찬가지로 어도 관찰실을 운영하여 모니터링을 실시하고 있으며, 어도의 효율성 및 회귀성 어류상을 조사하여 어도를 개선하는데 있어서 기초자료로 활용되고 있다(최지용과 이기중, 2004).

반면, 우리나라에서는 전국 국가하천과 지방하천에 설치된 보가 34,012개소이며, 이 중 5,081개소에만 어도가 설치되어 있어 전국 평균 어도 설치율은 14.9%로 매우 낮은 것으로 보고되었다(국토해양부, 2008). 권역별로 보 현황을 살펴보면, 낙동강 권역에 가장 많은 보가 설치되어 있었으며, 금강, 한강, 영산·섬진강권역 순으로 조사되었다. 권역별 어도 설치율은 영산강 권역이 20%로 가장 높게 나타났으며, 금강권역의 어도 설치율이 11.3%로 가장 낮게 조사되었다. 전국에 설치된 주요 어도형식은 도벽식 29%, 계단식 28%가 설치되어 있으며, 하천설계 기준에서 정하고 있는 형식 이외의 어도가 42%로 가장 많은 설치율을 보이고 있었다. 이러한 보 건설에는 수산자원보호령 제 12조 2항에 의하여 생물들이 이동할 수 있는 어도를 비롯한 생태통로를 반드시 설치하도록 의무화하고 있으나 그 실태 및 이용효율에 대해서는 아직까지 많은 연구가 진행되지 않았다.

어도에서 어류의 이동성을 평가하는데 있어서 많은 모니터링 기법들이 이용되어 왔다. 대표적으로 Visual fish 모니터링 및 Video Recording 모니터링 기법을 통하여 어도를 이용하는 어류를 평가하지만 이 기법들은 수체의 탁도와 빛의 투과율에 따라 가시거리에 큰 차이가 발생하는 단점을 가지고

있다(환경부/국립환경과학원, 2011). 표시-재포획(Mark-Recapture) 모니터링 기법은 조사지역에서 연구대상 개체군의 전수조사를 할 수 없을 때 재포획을 통하여 개체의 이동정도 및 개체군의 크기를 알아내는데 유용하지만, 연구 대상 수계의 범위가 넓고 다른 분류군들에 비하여 어류의 이동성이 강하기 때문에 포획되어 표시(Marking)된 개체를 재포획할 수 있는 확률은 매우 낮아 효율성을 보인다. 이에 따라서 환경선진국에서는 회귀어종이나 담수어를 관리하는데 있어서 PIT tag를 이용하여 개체군 및 이동에 관한 연구는 비교적 활발하게 수행되어 왔고(Morhardt *et al.*, 2000; Roussel *et al.*, 2000; Zydlewski *et al.*, 2001), 초음파 발신기(Pinger)를 어류의 체내에 부착하여, 이 발신기로부터 발신되는 초음파 신호를 하나 또는 복수의 수신기(Hydrophone)로 수신하여, 어류의 채류나 행동을 측정하는 기술인 음향 텔레메트리 기법(Acoustic telemetry system)등이 많이 이용되어 왔다(Matthew 1992; Cote *et al.*, 2002; Jadot *et al.*, 2006).

그러나 이처럼 표지법을 이용한 개체군 파악 및 이동에 대한 조사를 위해서는 이상적인 Tag이 갖춰야 하는 몇 가지 조건들이 있다. 부착에 따른 대상 생물의 일상적 행동에 저해를 주지 않아야 하며, 아울러 대상 생물의 생명에 위협이 되지 않아야 한다(Bubb *et al.*, 2002; Gibbons and Andrews, 2004). 또한 조사기간 동안 tag의 변형이나 어류로부터 이탈이 일어나지 말아야 하며, 상대적으로 장비를 구입하는데 많은 비용이 소요되기 때문에, 다양한 어류에 대해서 적용하기 어렵다는 단점을 가지고 있다. 반면, 어도 내에서 트랩(Trap)을 설치하여 이동하는 어류를 직접 채집할 수 있는 모니터링 기법은 적은 비용으로 어도를 이용하는 소상어류의 어종, 시간대, 시기 등 정밀조사를 할 수 있다는 장점을 가지고 있기 때문에 국외는 물론 국내에서도 어도 이동성 평가에 많이 이용되고 있는 기법이다(환경부/국립환경과학원, 2011).

따라서 본 연구의 목적은 영산강 죽산보에 설치

된 어도를 통해 이동하는 어류의 종조성 및 개체수의 변화 특성을 분석하여 어도를 이용하는 어류의 군집 변화 특성을 분석하고, 시기 및 계절별 어류 이동 변화율을 평가하여 어도 효과를 평가하는데 그 목적이 있다. 또한 어도를 이용하는 소상어류의 어종, 시간대, 시기 등의 정밀조사를 통하여 보 설치에 따른 회귀성 어종 이동경로 및 어도 영향 등을 파악하여 생태계 영향의 통합적 평가 및 문제점 해결방안 등을 도출하여, 보 설치 후 회귀성 어류의 피해를 최소화시키기 위한 최적 어도 설치 및 종합적인 관리 방안을 도출하는데 기초자료를 제공하고 자 한다.

II. 연구 방법

1. 조사 대상지 현황

본 연구 대상인 죽산보는 4대강 사업의 일환으로 영산강의 하류역에 건설된 인공보이다. 죽산보가

건설된 영산강 수계는 유역면적 3,371.4 km², 유로 연장 총길이 136 km로서 담양군 용면에서 발원하여 담양호에 집수된 후 월계천, 지석천, 영산호를 지나 목포 영산강 하구둑을 통해 서해로 흘러가는 우리나라 4대강 중 하나이다(최치웅과 안광국, 2008a). 영산강 수계는 136 km의 본류구간과 황룡강, 지석천, 고막원천, 함평천, 만봉천, 광주천 등 주요 지천으로 구성되어 있으며, 이들 수계로부터 비점오염원의 영향을 받고 있는 것으로 잘 알려져 있다(환경부/국립환경과학원, 2011). 죽산보는 영산강 하구로부터 약 50 km 정도 거리에 설치된 보로서 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, 보 길이 622 m, 수문형식은 셸타입 롤러게이트(Shell type roller gate) 형식을 갖추고 있는 가동보다. 상류에 위치한 승촌보에서 죽산보까지의 구간은 저수로의 폭이 협소하며, 갈수기 때 수심이 특히 얇아서 수변 레저 활동 등의 친

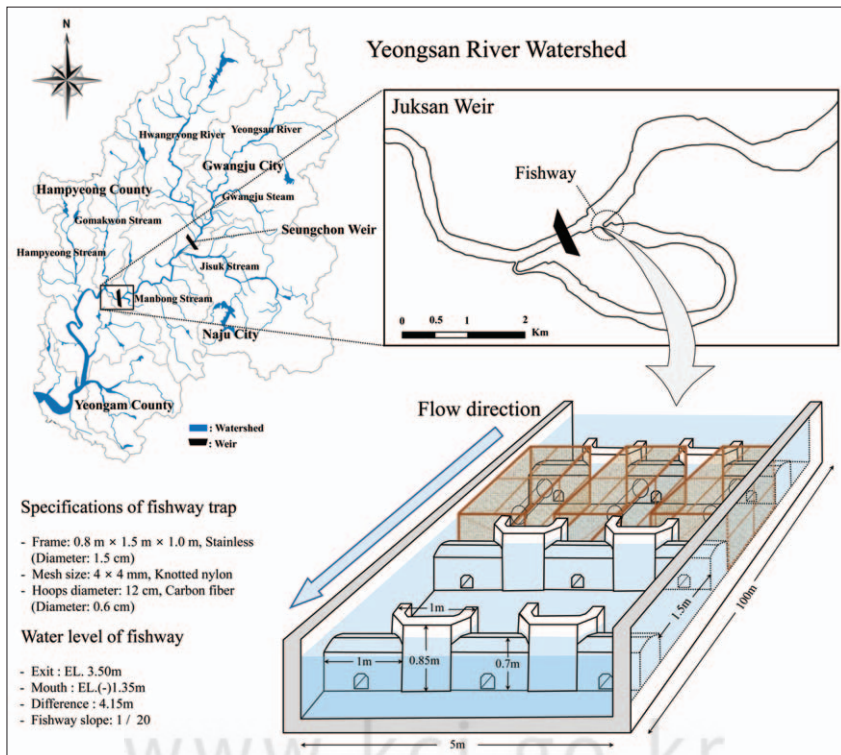


Fig. 1. The structures and demensions of fishway in Juksan Weir of Youngsan River watershed

수 공간 조성이 어려운 특징을 가지고 있어 하류부에 죽산보를 건설하였다. 죽산보의 어도는 승촌보와는 달리 가동보에 직접 설치되지 않고, 상류 우안 500 m 부근에 구하도와 연결된 조립식 아이스하버형 어도(Iceharbor-type precast fishway)가 설치되어 있어 구하도를 통하여 어류가 이동할 수 있도록 건설되어 있다(Fig. 1).

2. 죽산보 어도에서의 어류 모니터링 방법

죽산보 어도에서 소상하는 어류를 분석하기 위한 모니터링 방법은 어도에서 소상하는 어류를 트랩을 이용하여 포획하여 직접 조사하는 방법을 이용하였다. 조사에 사용된 트랩은 가로×세로×높이가 각각 0.8 m×1.5 m×1.0 m인 스테인리스 스틸파이프 골조로 어도의 규격에 맞게 제작하였으며, 어도를 이용하는 모든 어류(치어 포함)가 채집이 가능하도록 망목 4×4 mm의 나일론 재질로 구성된 그물의 망목을 설계하였다. 트랩의 유인입구는 직경 12 cm의 원형으로 제작하였으며, 탄소섬유를 사용하여 내구성을 강화시켰다. 또한 어도에서 소상하는 어류 및 강하하는 어류 모두 채집되도록 양방향으로 입구를 제작하였으며, 총 3개의 동일한 크기의 트랩을 어류 모니터링에 사용하였다(Fig. 1). 어도의 설치는 어도가 가동되기 시작한 2012년 6월부터 강우가 집중되기 전인 8월 사이에 조사를 실시하였으며, 매월 2회 이상, 총 7회에 걸쳐서 어도 모니터링을 실시하였다. 어도 내에서 소상하는 어류가 어떤 위치에서 더 많이 이동하는지를 비교하기 위하여 어도의 출구부근에 위치별로 트랩을 설치하여 모니터링을 실시하였다. 또한 조사 기간 동안 시간별 이동 특성을 파악하기 위하여, 당일 오전 9시부터 익일 오전 9시까지 총 24시간을 조사를 원칙으로 하였다. 어류의 이동이 활발할 것으로 예상되는 주간과 일몰직후(09 ~ 18시), 일부 야행성 어종들이 이동할 것으로 예상되는 야간(18 ~ 익일 09시)시간을 모두 모니터링하기 위하여 3시간 간격으로 모니터링을 실시하였다. 어류조사 외에도 어도의 월류부 및 저류부에서 유속측정기(모델명: Gurley

Precision Instruments Model 1100)를 이용하여 각 트랩이 설치된 구간의 유속(Velocity)을 측정하였다. 각 트랩에서 획득한 어류는 전장(Length)과 체중(Weight)을 측정하였으며, 어류 동정은 최기철 등(1990), 김익수와 장언중(1993), 김익수와 박종영(2002)을 참고하여 연구에 필요한 분류학적 주요 형질을 조사한 후 방류하였고, 일부 동정이 불확실하거나 정밀 분석이 필요한 종은 10% 포르말린 용액에 고정한 후 실험실에서 동정 및 분류하였다.

3. 통계 분석

어도를 이용하는 어류의 종수 및 개체수가 시간별, 구간별의 차이가 있는지를 분석하기 위하여 자료를 대별하여 통계분석을 실시하였다. 사용된 통계 프로그램은 IBM SPSS Statistics 20(Korea Plus Packages, 2011) 통계 패키지를 이용하여 분석하였다. 시간대별로 채집되는 어류 종조성의 평균을 비교하기 위하여 일원배치분산분석(One way ANOVA)을 이용하였으며, 트랩별로 채집되는 종조성에 차이를 비교하기 위하여 Kruskal-Wallis test를 이용하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 어도의 물리적 특성

어도의 유속을 시기별로 조사한 결과, 죽산보 어도의 좌측 월류부는 $0.43 \pm 0.01 \text{ ms}^{-1}$ (n = 7), 우측 월류부는 $0.42 \pm 0.01 \text{ ms}^{-1}$ (n = 7)으로 조사되었으며, 중앙에 위치한 월류부는 $0.41 \pm 0.01 \text{ ms}^{-1}$ (n = 7)로 나타났다. 반면 잠공부 유속은 좌측이 $0.44 \pm 0.02 \text{ ms}^{-1}$ (n = 7), 우측이 $0.43 \pm 0.01 \text{ ms}^{-1}$ (n = 7)로 나타났으며, 중앙에 있는 잠공부는 $0.42 \pm 0.02 \text{ ms}^{-1}$ (n = 7)로 나타나 구간별로 큰 차이를 보이지 않았으며, 각 구간 모두 어류가 소상하기 적합한 유속을 보이는 것으로 나타났다(농어촌연구원, 2004). 죽산보의 어도는 조사 시기동안 유속에 큰 변이를 보이지 않았는데, 이는 어도가 인공보와 직접적으로 연결되어 있지 않고, 죽산보 상

류 500 m부근에 구하도와 연결되어 있어 본류의 직접적인 이류(Advection)에 영향을 받지 않은 것으로 판단되며, 또한 터널식 어도의 갑문을 20 cm 만 개방하여 하류부에 있는 아이스하버식 어도에는 일정량의 유량이 유입되어 유속의 변이가 크지 않은 것으로 판단된다. 그러나 어도에서 좌측열의 구간이 구간의 월류부 및 잠공부의 평균유속이 다른 구간에 비하여 다소 높게 나타나, 어도의 유인수로 역할을 하는 것으로 사료된다.

2. 어도에서 확인된 종들의 출현양상

죽산보 어도에서 트랩을 이용하여 총 7회에 걸쳐 어류 모니터링을 실시한 결과, 총 5과 14종 1,263개체가 확인되었으며, 우점종으로는 참몰개(*Squalidus chankaensis tsuchigae*)가 26.9%로 가장 높은 개체 풍부도를 보였으며, 누치(*Hemibarbus labeo*)가 23.3%, 배스(*Micropterus salmoides*)가 19.2%, 밀자개(*Leiocassis nitidus*) 14.8%, 꼬리(*Opsarichthys uncirostris amurensis*) 6.8%, 붕어(*Carassius auratus*) 6.4%의 순으로 높은 상대 풍부도를 나타냈다(Table 1). 이 중 한국고유종으로 참몰개(*Squalidus chankaensis tsuchigae*), 치리(*Hemiculter eigenmanni*) 2종이 27.2%로 높은 상대 풍부도를 보였으며, 외래종은 배스(*Micropterus salmoides*), 블루길(*Lepomis macrochirus*) 2종이, 26%로 매우 높은 어도 이용률을 보이는 것으로 확인되었는데, 이들의 이동목적이 주기적인 이동인지 혹은 먹이를 쫓아서 우연히 올라온 것인지 향후 지속적인 조사를 실시해야 할 것으로 판단된다. 한편, 죽산보 어도를 이용하는 법적보호종 및 회유성 어류는 본 조사에서 확인되지 않았다. 어도의 효율성을 분석하기 위하여 환경부/국립환경과학원(2011)의 죽산보 상·하류 어류 조사 데이터와 어도에서 직접 채집된 어종과 비교·분석을 실시하였다. 죽산보 상·하류 구간에서 채집된 어종을 분석한 결과, 죽산보 상류구간에서는 5과 25종의 어류가 서식하고 있고, 죽산보 하류구간에서는 7과 29종의 어류가 서식하고 있으며, 수중보 상하류에서

모두 8과 32종의 어류가 서식하고 있는 것으로 나타났다. 이 중 회유성 어종으로 웅어(*Coilia nasus*)가 채집되는 것으로 조사되었다. 죽산보 상류에서만 출현하는 어종은 승어(*Mugil cephalus*)를 포함한 3종이, 하류구간에서만 출현한 어종은 납자루(*Acheilognathus lanceolatus*)를 포함한 7종이, 어도에서만 출현한 어종은 밀어를 포함한 3종이 출현하는 것으로 나타나 상·하류간 어종에 차이를 보이는 것으로 나타났다(Table 1). 총 9과 35종의 어류 중 본 조사에서 어도 이용이 확인된 어종은 참몰개(*Squalidus chankaensis tsuchigae*) 등 총 5과 11종으로 전체 어종의 31.4%만이 어도를 이용한 것으로 확인되었고, 이 외의 어종들은 어도를 이용하지 못한 것으로 나타났다. 이는 어도가 죽산보에 직접 설치되지 않았으며, 구하도에서 죽산보 하류부로 방류되는 유량이 죽산보에서 월류되어 흐르는 방류량보다 적기 때문에 구하도 방류수가 유인수의 역할을 발휘하지 못하여 나타난 결과로 사료된다(Clay, 1995).

3. 어도를 이용하는 어류의 월별 이동 현황

어도에서 채집된 어종의 시기별 분석에 의하면, 6월인 1 ~ 3차 조사에서 총 8종 494개체가 출현하였고, 7월인 4 ~ 5차 조사에서 13종 532개체, 8월인 6 ~ 7차 조사에서 7종 237개체가 출현하여 7월에 가장 많은 어종이 어도를 이용한 것으로 분석되었다. 이는 이 시기에 출현한 대부분의 어류들이 6 ~ 7월에 산란을 하는 어종으로서, 산란을 위하여 국소적으로 주변 지류들로 어류들이 이동을 하기 때문인 것으로 사료된다(McKeown, 1984; Harvey, 1991; Fausch and Young, 1995; Mallen-Cooper, 2001). 반면 8월에 어도를 이용하는 어종 및 개체 풍부도가 감소한 것으로 나타났는데, 이는 국내 특성상 8월에 강우가 집중되는 시기로서 어도를 이용하는 어류의 종 및 개체수가 반영된 결과로 판단된다.

죽산보 어도에서 채집된 어종에 따른 체장을 분석한 결과, 14종 1,263개체의 평균 체장은 89.8 mm 이었으며, 가장 큰 것은 280 mm의 누치(*Hemibarbus*

Table 1. Fish species and compositions in the fishway of Juksan Weir of Yeongsan River watershed during June - August 2012 and some comparisons with fish data(present/absent; MOE/NIER) from Juksan upper weir(J_U) and lower weir(J_L) at the same period

Species	Fish Survey in Fishway							TNI	MOE/NIER (2011)*	
	JUN			JUL		AUG			J _U	J _L
	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th			
Engraulidae										
<i>Coilia nasus</i>									●	●
Cyprinidae										
<i>Cyprinus carpio</i>						2		2	+	+
<i>Carassius auratus</i>	3	2	1	2		2		10	◎	◎
<i>Carassius cuvieri</i>									◎	+
<i>Rhodeus uyekii</i>										+
<i>Rhodeus notatus</i>									+	●
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>										◎
<i>Acheilognathus rhombeus</i>									+	
<i>Acanthorhodeus macropterus</i>									◎	●
<i>Acanthorhodeus gracilis</i>									◎	◎
<i>Pseudorasbora parva</i>		2	2	2	3			9	◎	+
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>										+
<i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i>									+	
<i>Squalidus gracilismajimae</i>									◎	◎
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>									+	+
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>			1	247	92			340	◎	◎
<i>Hemibarbus labeo</i>	2	3	7	27	83	87	85	294	●	●
<i>Pseudogobio esocinus</i>									+	+
<i>Abbottina rivularis</i>									+	+
<i>Microphysogobio yaluensis</i>									+	+
<i>Zacco platypus</i>									◎	+
<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>	32	24	4	21				81	●	●
<i>Culter brevicauda</i>					1		2	3	+	+
<i>Hemiculter eigenmanni</i>					4			4	●	◎
Cobitidae										
<i>Misgurnus mizolepis</i>				2				2		
Bagridae										
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>										+
<i>Leiocassis nitidus</i>	13	37	78	10		26	23	187	◎	◎
Siluridae										
<i>Silurus asotus</i>										+
Mugilidae										
<i>Mugil cephalus</i>									+	
Centrarchidae										
<i>Lepomis macrochirus</i>	32	21	8	20		3	2	86	◎	◎
<i>Micropterus salmoides</i>	38	38	146	13	2	4	1	242	◎	●
Odontobutidae										
<i>Odontobutis platycephala</i>										+
Gobiidae										
<i>Rhinogobius giurinus</i>										+
<i>Rhinogobius brunneus</i>				2				2		
<i>Tridentiger brevispinis</i>				1				1		
Total Number of Species	6	7	8	11	6	6	5	14	25	29
Total Number of Individuals	120	127	247	347	185	124	113	1,263		

TNI: Total number of individuals, MOE: Ministry of Environment, NIER: National Institute of Environmental Research, J_U: Juksan upper weir, J_L: Juksan lower weir
 *MOE/NIER(2011): Passage route survey of migratory fishes before and after the construction of weirs and the fishway's effects, ●: >100 individuals, ◎: 10 ~ 100 individuals, +: <10 individuals

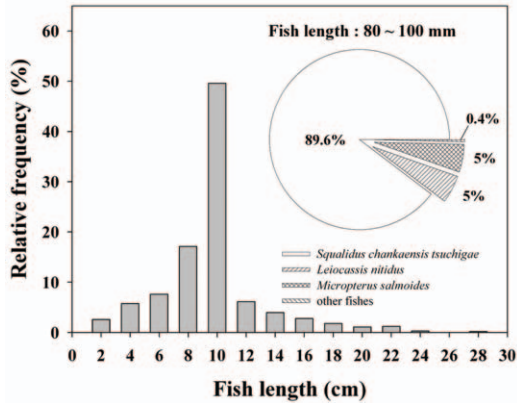


Fig. 2. Total length size-frequency distribution of fish sampled from the fishway of Juksan Weir

labeo)이고, 가장 작은 것은 20.0 mm의 밀어 (*Rhinogobius brunneus*)였다. 채집된 어류 중 체장이 50 mm 보다 큰 개체는 전체 91.2%로 나타났으며, 이 중 80 ~ 100 mm 사이의 크기를 보이는 어류가 63.1%가 가장 높은 상대빈도를 보이는 것으로 분석되었다. 체장이 80 ~ 100 mm 사이의 크기를 보이는 어류들 중 참물개(*Squalidus chankaensis*

tsuchigae)가 가장 많은 상대풍부도(89.6%)를 보이는 것으로 나타났는데, 참물개(*Squalidus chankaensis tsuchigae*)는 한국고유종으로서 유영능력이 높지 않아 물의 흐름이 느리고 수심이 얕은 하천이나 저수지에서 중층에 무리를 지어 이동하는 습성이 있는 어종인 것을 감안한다면, 죽산보 어도가 유영능력이 높은 일부 어종만 이용하는 것이 아니라 유영능력이 낮은 어류도 이용하고 있는 것으로 판단된다(Fig. 2).

4. 어도를 이용하는 어류의 시간별 이동 현황

죽산보 어도에서 시간대별 어류의 이동량 분석에 의하면 거의 대부분의 어류가 18 ~ 21시를 선호하는 경향을 보였다. 어도를 이용한 전체 어류 중 이 시간대를 이용한 어류는 32.1%가 어도를 이용하였으며, 06 ~ 09시 사이 시간대에서 채집된 어류가 2.2%로 나타나 어도 이용률이 가장 낮은 것으로 확인되었다. 그 외의 시간대에서는 12 ~ 15시에 17.8%(129개체)의 어류가 소상하였으며, 15 ~ 18시에서는 13.5%의 어류가 소상하는 것으로 나타났

Table 2. Diel variations of fish movements and compositions in the fishway of Juksan Weir

Fish Species	Time Interval of Fish Movement								Total	RA(%)
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i> *	6	58	48	90	58	47	27	6	340	26.9
<i>Hemibarbus labeo</i>	7	27	36	94	54	49	23	4	294	23.3
<i>Micropterus salmoides</i> †	21	50	75	57	25	6	1	7	242	19.2
<i>Leiocassis nitidus</i>	4	12	6	84	50	21	6	4	187	14.8
<i>Lepomis macrochirus</i> †	2	1	11	44	10	11	2	5	86	6.81
<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>	3	17	27	28	5			1	81	6.41
<i>Carassius auratus</i>		2	3	1	2	1		1	10	0.79
<i>Pseudorasbora parva</i>			4	2	2	1			9	0.71
<i>Hemiculter eigenmanni</i> *			1		3				4	0.32
<i>Culter brevicauda</i>						3			3	0.24
<i>Misgurnus mizolepis</i>				1	1				2	0.16
<i>Rhinogobius brunneus</i>				2					2	0.16
<i>Cyprinus carpio</i>		1		1					2	0.16
<i>Tridentiger brevispinis</i>				1					1	0.08
Total Number of Species	6	8	9	12	10	8	5	7	14	
Total Number of Individuals	43	168	211	405	210	139	59	28	1,263	

I = 09 ~ 12h, II = 12 ~ 15h, III = 15 ~ 18h, IV = 18 ~ 21h, V = 21 ~ 24h, VI = 24 ~ 03h, VII = 03 ~ 06h, VIII = 06 ~ 09, RA: Relative abundance, *: Endemic species, †: Exotic species

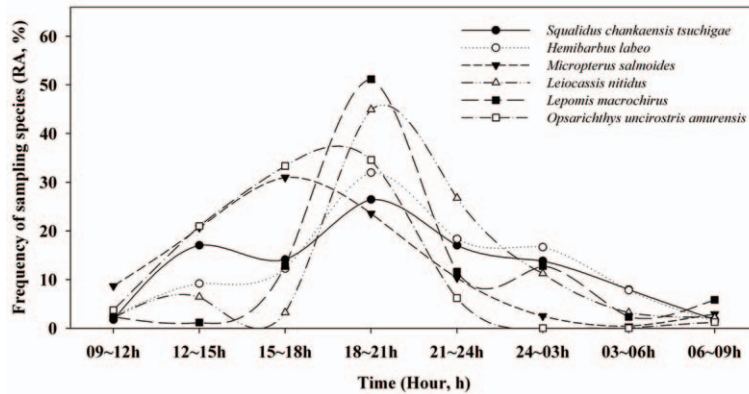


Fig. 3. The use rate of fishway by each fish species during the time period of 24 hours. The highest frequency in the fishway use occurred in the period of 18:00 pm ~ 21:00 pm

다(Table 2). 시간대별 분석에서 주로 해뜨기 전보다 해가 진 후 야간 시간대에서 더 높은 출현빈도를 보였다. 이는 죽산보의 어류들이 해가 진 후 주로 먹이 활동을 위하여 이동을 하기 때문에 나타난 결과로 사료된다.

어종별로 살펴보면, 전 시간대에 출현한 어종으로 참물개(*Squalidus chankaensis tsuchigae*), 누치(*Hemibarbus labeo*), 배스(*Micropterus salmoides*), 블루길(*Lepomis macrochirus*) 등 부유성 어류가 주로 낮시간 동안 어도를 이용하고 있는 것으로 나타났으며, 밀자개(*Leiocassis nitidus*), 밀어(*Rhinogobius brunneus*), 민물검정망둑(*Tridentiger brevispinis*)과 같은 저서성 어류는 해가 질 무렵인 18시 이후부터 이동하기 시작하여 해 뜨기 전 시간대에 주로 어도를 이용하는 것으로 나타나 어종별로 어도를 이용하는 시간대에서 차이가 있는 것으로 분석되었다(Fig. 4). 특히 외래도입종인 육식어종 배스(*Micropterus salmoides*)의 경우, 야간(21시 ~ 익일 09시)보다는 주간(09시 ~ 21시)에 이동이 83.9%로 월등히 높아 주로 낮시간 동안 먹이활동을 하는 것으로 분석되었다. 이는 같은 육식종인 꼬리(*Opsarichthys uncirostris amurensis*)에서도 동일한 결과를 보였는데, 전체 시간대 중 주간(09시 ~ 21시) 시간대에 92.6%가 이동하는 것으로 분석되었다. 반면, 밀자개(*Leiocassis nitidus*)는 해가 지기 전(09시 ~ 18시) 시간대에서

11.8%, 해가 진 후부터 해가 뜨기 전(18시 ~ 익일 06시) 시간대에 86.1%로 출현하여, 밀자개(*Leiocassis nitidus*)가 야행성 어종임을 확인할 수 있었다(Fig. 3). 밀자개(*Leiocassis nitidus*) 이외에도 저서성 어종인 미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*), 밀어(*Rhinogobius brunneus*), 민물검정망둑(*Tridentiger brevispinis*) 등 3종이 18시 이후에 출현하는 것으로 분석되었다. 일반적으로 미꾸라지와 같은 소형 어류는 조류 등 천적에 의한 포식위험이 적은 야간에 주로 이동하는 것으로 알려져 있어(Yanagishima and Mori, 1951; Nakamura and Oda, 2005) 본 연구에서도 유사한 결과로 나타났다.

각 시간대별 어도를 이용하는 어류의 종수 및 개체수의 차이가 있는지를 분석하기 위하여 각 시간대별로 자료를 대별하여 통계분석을 실시하였다. 통계에 이용된 분석법은 일원배치분산분석(One way Analysis of Variance, One way ANOVA)으로서 세 집단 이상의 평균이 모두 같은지를 검정하는 통계분석 방법이다. 따라서 본 연구에서는 각 시간대별로 나타난 어류의 종조성(종수, 개체수) 간에 차이가 있는지를 다중비교(Multiple Comparisons) 분석을 통하여 분석하였다. 통계분석 결과, 죽산보 어도의 종수($F = 4.301, p < 0.001$)와 개체수($F = 7.868, p < 0.0001$) 모두 각 시간대별로 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다(Table 3). 이는 해가 지는 시간대인 18시부터 21시까지의

Table 3. Statistical analysis of one-way ANOVA, based on the difference of species composition and total individuals, respectively among each sampling interval in the fishway of Juksan Weir

Source		Sum of Squares	df	Mean Square	F-ratio(F-value)	Probability(p)
Species	Between Groups	72.2	7	10.3	4.301	0.001
	Within Groups	115.1	48	2.4		
	Total	187.3	55			
Individuals	Between Groups	17678.6	7	2525.5	7.868	0.0001
	Within Groups	15406.9	48	320.9		
	Total	33085.4	55			

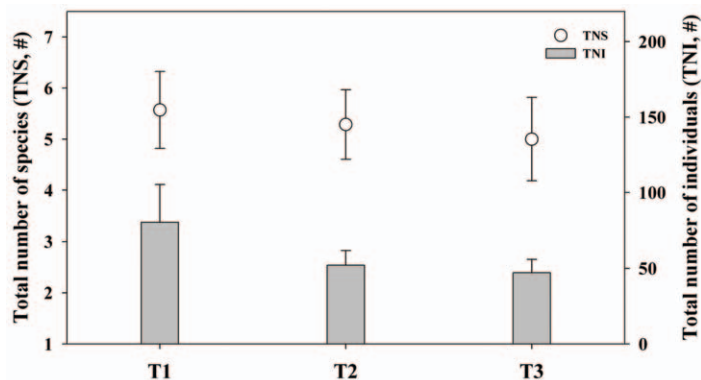


Fig. 4. Total number of species and total number of individuals sampled from various locations of the trap-sampling(T1 ~ T3) in the fishway of Juksan Weir

시간대가 먹이활동이 활발하고 이동하는 어종도 다양하기 때문에 시간대에 적정방류량을 설정하여 유도수를 방류한다면 어류의 이동에 있어서 큰 도움이 될 것으로 판단된다(Barry and Kynard, 1986).

5. 어도를 이용하는 어류의 트랩별 이동 현황

어도내 좌측부터 첫번째 트랩을 T1, 그 다음 두번째 트랩을 T2, 우측에 있는 트랩을 T3로 대별하여 분석한 결과, T1은 평균 85개체(범위: 32 ~ 213개체, 표준편차: 63.4개체), T2는 평균 54개체(범위: 36 ~ 104개체, 표준편차: 24.7개체), T3은 평균 51개체(범위: 27 ~ 98개체, 표준편차: 25.1개체)로 나타나 T1에서 가장 많은 개체가 채집되었고, T2와 T3에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 한편, 종수에서는 T1은 평균 5.6종(범위: 3 ~ 9종), T2는 평균 5.3종(범위: 4 ~ 9종), T3은 평균 5종(범위: 2 ~ 8종)로 나타나 트랩별로 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 4). 트랩의 위치에 따라 채집된 종과 개체수의 차이

를 알아보기 위하여 비모수통계 방식인 Kruskal-Wallis test 분석을 실시하였다. 그 결과 종수($\chi^2 = 1.834$, $p = 0.400$) 및 개체수($\chi^2 = 0.266$, $p = 0.875$) 모두 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 분석되었다. 트랩별로 위치에 따라 큰 차이를 보이지 않아 주간 및 야간으로 자료를 구분하여 분석한 결과에서도 종수는 주간조사($\chi^2 = 0.245$, $p = 0.885$), 야간조사($\chi^2 = 0.249$, $p = 0.883$), 개체수는 주간조사($\chi^2 = 0.575$, $p = 0.750$), 야간조사($\chi^2 = 1.722$, $p = 0.423$)로 분석되어 종수 및 개체수 측면에서 유의확률이 0.05보다 큰 값을 보여 죽산보 어도의 위치에 이동하는 어류의 종조성에는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 분석되었다.

IV. 결론

총 7회에 걸쳐 어도 모니터링을 분석한 결과 죽산보 어도를 이용하는 어류의 종 다양도는 죽산보

상·하류의 종 다양도 보다 낮은 것을 확인하였다. 하지만 이는 인공호에 설치된 아이스하버식 어도의 구조적인 문제보다는 유량을 조절하여 발생하는 유속에 따라서 어류의 소상력이 결정되기 때문에 어도내 안정적인 유량 확보를 통하여 어도 효과를 높이는 것이 더 효과적일 것으로 사료된다. 현재 죽산보의 아이스하버식 어도는 빠른 유속으로 인하여 참물개(*Squalidus chankaensis tsuchigae*)와 같은 일부 부유성 어종에게만 유리한 조건으로 형성되어 다른 어종의 이동이 어려울 것으로 분석되었다. 또한 상류부 유량확보를 위해 비정기적으로 시행되고 있는 고정보의 방류와 어도 출구부에 있는 개폐는 어도 하류의 유속 증가로 이어져 꼬리(*Opsarichthys uncirostris amurensis*)와 같이 빠른 유속을 잘 거슬러 올라갈 수 있는 종만 소상하는 반면, 꾸준히 출현하고 있지만 개체수가 상대적으로 적은 저서성의 어종들은 소상하는 개체 비율이 낮은 경향을 보였다. 그리고 대부분의 어류가 어도를 지속적으로 이용하기 보다는 특정 시간대에 집중적으로 이용하고 있기 때문에 이 시간대의 적절한 유량 조절을 통하여 어도효과를 증대시켜야 할 것으로 판단된다. 결과적으로 현재 영산강 인공보에 설치된 어도 자체의 문제점은 없는 것으로 판단되나, 어도를 이용하는 어종이 특정 어류에 한정되어 있기 때문에 향후 적절한 어도내 유량관리가 어류의 이동성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

결론적으로 영산강 죽산보에 설치된 아이스하버식 어도는 영산강에 서식하는 어류의 다양성을 만족하기 어려운 형태이며, 특히 회유성 어류가 전혀 이용할 수 없었다. 참물개(*Squalidus chankaensis tsuchigae*)나 누치(*Hemibarbus labeo*)와 같은 일부 어종들만이 어도를 통해 상류로 이동하는 것으로 조사되었고, 실제로는 회유성 어종인 용어(*Coilia nasus*)나 뱀장어(*Anguilla japonica*)는 거의 이용하기 어려운 것으로 판단되었다. 뿐만 아니라 각 인공보는 고정보에서 상시 월류되고 있기 때문에 어류가 어도입구를 찾아 이를 이용하는 것이 어려울 뿐만 아니라, 가동보의 운영조작 또한 어도

의 기능을 고려하지 않고 이루어지기 때문에 어도의 어류소상기능은 거의 발휘되지 못하고 있었다. 따라서 어도의 구조와 가동보의 운영조작을 개선하여 어도의 어류소상 기능을 향상할 필요가 있다.

사 사

본 연구는 영산강 수계관리위원회 국립환경과학원 영산강물환경연구소에서 시행한 영산강·섬진강 수계 환경 기초조사사업(연구과제명: 보 설치 전·후 회귀성 어종의 이동경로조사 및 어도효과 분석)의 연구 지원으로 수행되었기에 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 국토해양부, 2008, 한국하천일람 2008, 국토해양부 한강홍수통제소, 23-44.
- 농어촌연구원, 2004, 하천의 어도를 비롯한 생태통로 기술개발 연구, 환경부, pp. 130.
- 박수택, 2010, 21세기 하천관리의 관점에서 본 '4대강 살리기' 사업, 한국환경보건의학회지, 36(1), 72-75.
- 박창규, 2006, 아랄해역의 환경문제와 수자원 관리의 변화와 과제, 중앙아시아연구, 11, 253-271.
- 서울시정개발연구원, 2007, 잠실수중보 어도 생태 모니터링 및 유지관리방안, 서울시정개발연구원, 37-73.
- 양홍준, 김구환, 금지돈, 2001, 낙동강하구의 어류상과 댐의 어도에서 어류의 이동, 한국육수학회지, 34(3), 251-258.
- 정은희, 오조교, 정연훈, 박진호, 정종필, 김태열, 이현진, 권상조, 2006, 하천 수중보가 수질환경에 미치는 영향 평가, 경기도보존환경연구원보, 181-194.
- 최기철, 전상린, 김익수, 손영목, 1990, 한국담수어류도감, 향문사, 서울.

- 최기철, 1989, 전남의 자연, 전라남도 교육위원회, 광주.
- 최지웅, 이기중, 2004, 하천댐의 어도현황과 향후 설치 및 관리방안 연구. 한국환경정책·평가연구원, 65-94.
- 최지웅, 안광국, 2008a, 영산강 수계의 어류 종 조성 및 분포특성 분석, 한국하천호수학회지, 41(3), 301-310.
- 최지웅, 안광국, 2008b, 다각적 수환경 지표를 이용한 영산호의 생태영향 평가, 한국하천호수학회지, 41(2), 155-165.
- 환경부/국립환경과학원(MOE/NIER), 2011, 보 설치 전·후 회귀성 어종의 이동경로조사 및 어도효과 분석 1차년도 최종보고서, 국립환경과학원 영산강물환경연구소, pp. 116.
- Barry, T. and B. Kynard, 1986, Attraction of adult American shad to fish lifts at Holyoke Dam, Connecticut River, North American Journal of Fisheries Management, 6, 233-241.
- Bubb, D.H. and M.C. Lucas, T.J. Thom and P. Rycroft, 2002, The potential use of PIT telemetry for identifying and tracking crayfish in their natural environment, Hydrobiologia, 483, 225-230.
- Clay, C.H., 1995, Design of Fishways and Other Fish Facilities, Lewis Publishers, Boca Raton.
- Cote, O., L.M.N. Ollerhead, R.S. Gregory, D.A. Scruton and R.S. Mckinley, 2002, Activity patterns of juvenile Atlantic cod(*Gadus morhua*) in Buckley Cove, Newfoundland, Hydrobiologia, 483, 121-127.
- Fausch, K.D. and M.K. Young, 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.
- Gibbons, J.W. and K.M. Andrews, 2004, PIT tagging: simple technology at its best, Biosciences, 54, 447-454.
- Gleick, P.H., 2001, Making every drop count, Scientific American, 284(2), 40-46.
- Harvey, B.C., 1991, Interactions among stream fishes: predator induced habitat shifts and larval survival, Oecologia, 87, 29-39.
- Jadot, C., A. Donnay, M.L. Acolas, Y. Comet and M.L. Begout Anras, 2006, Activity patterns, home-range size, and habitat utilization of *Sarpa salpa*(*Tcleostei*: Sparidae) in the Mediterranean Sea, ICES Journal of Marine Science, 63, 128-139.
- Mallen-Cooper, M., I.G. Stuart, F. Hides-Pearson and J.H. Harris, 1995, Fish migration in the Murray River and assessment of the Torrumbarry fishway, Final Report, NRMS Project N002.
- Matthews, K.R., 1992, A telemetric study of the home ranges and homing routes of lingcod *Ophiodon elongatus* on shallow rocky reefs off Vancouver Island, British Columbia, Fishery Bulletin, 90, 784-790.
- McKeown, B.A., 1984, Fish Migration, Timber Press, USA.
- Morhardt, J.E., D. Bisher, C.I. Handlin and S.D. Mulder, 2000, A portable system for reading large PIT tags from wild trout, North American Journal of Fisheries Management, 20, 276-283.
- Nakamura, T. and N. Oda, 2005, Daily

- rhythms and relationship with rainfall of ascending activity of fish in a paddy field ditch, *Aquaculture Science*, 53(4), 349-354.
- Roussel, J.M., A. Haro and R.A. Cunjak, 2000, Field-test of a new method for tracking small fishes in shallow rivers using passive integrated transponder(PIT) technology, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57, 1326-1329.
- Wendelaar Bonga, S.E., 1997, The stress response in fish, *Physiological Reviews*, 77, 591-625.
- Yanagishima, S. and S. Mori, 1951, Relation between activity and glycogen contents of the Japanese loach, *Memoirs of the College of Science, University of Kyoto, Series B*, 20, 1-6.
- Zydlewski, G.B., A. Harom, K.G. Whalen and S.D. McCormick, 2001, Performance of stationary and portable passive transponder detection systems for monitoring fish movements, *Journal of Fish Biology*, 58, 1471-1475.

최종원고채택 12. 11. 07