

연구논문

인공보의 어류생태영향 평가를 위한 Echo-sounder 모니터링 기법 적용

한정호* · 이재훈* · 최지웅* · 임병진** · 박종환** · 안광국*

충남대학교 생명시스템과대학 생물과학과*, 국립환경과학원 영산강물환경연구소**

(2012년 8월 15일 접수, 2012년 10월 15일 승인)

Application of Echo-Sounder Monitoring Technique as Ecological Impact Assessments of Fish on Artificial Weir Construction

Jeong-Ho Han* · Jae Hoon Lee* · Ji-Woong Choi* · 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 August 2012; accepted 15 October 2012)

Abstract

In this study, Echo-sounder(E_s) monitoring methodology was applied to test environmental impacts of artificial weirs(SCW and JSW) in the Yeongsan River on fish community and habitat structures at first time, and was compared with conventional fish sampling methodologies(C_s). For the E_s monitoring in the fields, parallel transect methods was employed in determining the survey distance interval with every 125 m within the upper-lower 2 km of the weirs. Four different fish sampling gears such as casting nets, kick nets, fyke nets, and gill nets were used for applications of C_s monitoring methodology. According to the Echo-sounder monitoring, fish density, expressed as a number of individuals per square meter, along the longitudinal axis of the weir was significantly greater(JSW, $t = 3.506$, $n = 30$, $p < 0.001$) in the down-river reach of the weir than in the up-river reach. Also, fish density along the vertical water column was highest at mid-depths of Seungchon weir, which has simple habitat substrates, while fish density was highest at hypolimnetic depth of Juksan weir. According to fish sampling by the C_s methodology, the fish compositions decreased as the river goes upward, and significant differences(JSW, $t = 0.248$, $n = 30$, $p < 0.05$) in the compositions of fish species occurred between up-reach and down-reach of the weirs. The dominant species near the two weirs were *Opsarichthys uncirostris amurensis*, *Hemiculter eigenmanni* and *Coilia nasus*. Overall, our fish and

habitat data, based on E_s and C_s monitoring methodologies, suggest that the weirs disturbed the rivers due to initial habitat disturbances by the weir constructions as well as the barrier roles of weirs on fish passage and migrations. More long-term scientific and systematic fish impact monitoring and assessments(E_s and C_s) are required in the future to predict changes of ecological structures and functions on the constructions of the weirs.

Keywords : Echo-sounder, Fish monitoring, Habitat structure, Yeongsan River, Weir construction

1. 서론

국내 하천 및 강의 중, 하류부에 건설된 인공보나 중·소형규모의 댐 내 수체는 수리·수문학적 특성 뿐만 아니라 하상 및 지형 구조 측면에서도 매우 복잡한 특성을 보이고 있어 어류 군집평가 및 어류 이동성 평가 시 어구(Fish sampling gear) 선택의 모호성을 가지고 있다. 이는 이러한 지역들이 하천의 유수역(Lotic water) 특성 및 호수와 같은 정수역(Lentic water) 특성을 동시에 가지고 있기 때문이다. 이러한 수체 특성으로 인하여 대부분의 인공호 및 보가 위치한 수역에서의 어류조사는 정치망(Fyke net)이나 자망(Gill net)의 설치가 가능한 일부 호안지역에서 조사가 주로 이루어지고 있으며, 이와 더불어 수심이 얇고, 접근성이 좋은 연안부 및 유입부 수역에서 투망(Casting net) 및 족대(Kick net)를 이용하여 어류의 종 조성 평가 및 이동성 평가에 이용되고 있다(고유봉과 신희섭, 1990; 김준택 등, 1999; 차병열 등, 2004). 이와 같은 일반적인 조사방법들은 정성적인 자료 측면에서는 많은 장점을 가지고 있지만, 채집 면적에 대한 어류밀도 평가 및 채집 수층별(Water column) 어류분포 특성 평가 측면에서는 정량적인 자료 도출이 불가능하다. 또한 수 환경의 변화에 의해 다양하게 형성되는 어류군집의 시·공간 분포 특성, 특히 어류 군집의 수직분포 특성 분석에 많은 어려움이 있어 조사자료의 한계성을 가지고 있다. 이처럼 정성적인 분석에 치우친 기존의 어류조사 방법의 한계점을 극복하기 위해 새로운 조사기법 연구가 절실히 요구되어 왔다(MacLennan and Simmonds, 1992; Abad *et al.*, 1998).

최근 외국에서는 어류군집에 대한 조사기법으로

서 음향학적 조사 기법(Echo-sounder survey technique)을 도입하여 연구를 하고 있으며, 이 기법을 이용하여 어류 군집 구조 특성 파악 및 시·공간적 어류 분포 특성에 대한 정량적인 자료를 도출하는데 널리 이용되고 있다(Foote, 1987; Hewitt and Demer 1993; Ohshimo 2004). 또한 이 기법은 해당 생태계의 정량적인 우점종 현존량을 추정하는데 있어서 새로운 가능성을 제시하는 모니터링 기법으로 대두되고 있다(강돈혁 등, 2008). 수중 음향을 이용한 어류 자원 조사방법은 주로 해양에서 수산자원을 조사하는데 광범위하게 사용되어 왔으나, 최근에는 호수와 같은 담수 생태계에도 도입되어 어류군집을 파악하는데 널리 이용되고 있다(Simmonds and MacLennan, 2005). 수산음향 기법은 연구자의 주관을 배제시키고, 사전에 설정된 음향 조사 정선에서 연속적으로 도출되는 객관적인 자료를 얻을 수 있다. 또한 어류군집의 수층별 분포 및 밀도, 개체 풍부도를 파악할 수 있는 장점 때문에 일반적으로 호수 및 인공호와 같은 정체수역에서의 많은 연구에 다양하게 적용되고 있다(Thorne, 1979; Traynor and Ehrenberg, 1979; Brandt, 1996; Cryer, 1996; Beauchamp *et al.*, 1997; Medwin and Clay, 1998). 수중 음향학은 주로 해양에서 동물 플랑크톤, 치어, 어류 등의 시·공간 분포, 자원량 추정 등 기존의 해양 생물학 분야에서 나타난 한계점을 상호 보완하는 연구에 많이 활용되고 있다(MacLennan and Simmonds, 1992). 최근에는 해조류 서식지 조사, 식물 플랑크톤 생태분야(강돈혁 등, 2006; Sabol *et al.*, 1997) 외에도 호수나 큰 강과 같은 담수생태계의 어류군집 자원량 분야(Jurvelius and Sammalkorpi,

1995; Djemali *et al.*, 2009) 등 그 연구 대상 영역이 확대되고 있다.

수중 음향학 조사는 주된 연구 대상이 어류군집이며, 이 가운데 수층의 중층에 서식하는 부유성 어류(Pelagic fishes)의 분포 특성을 파악하는데 가장 효과적인 조사방법으로 잘 알려져 있다(Petitgas and Levenez, 1996; Abad *et al.*, 1998; Reid *et al.*, 2000). 음향학적 어류조사는 어류 개체의 크기 및 어종을 파악할 수 없다는 단점에도 불구하고 수층에 분포하고 있는 어류의 밀도를 효과적으로 측정할 수 있는 장점으로 가지고 있다(Kubecka, 1994; Yule, 2000). 또한 수중 음향학적 조사는 직접조사를 통하지 않고, 간접적으로 짧은 기간 동안에 비교적 많은 면적의 생태계를 조사할 수 있는 장점을 제공한다. 직접조사 방법과의 비교 연구에서도, 자망 및 트롤 방법은 수중 음향학과 높은 상관성을 나타내지만, 채집되는 어류개체의 크기에 있어서 선택성을 보이기 때문에 연구자나 조사지역의 차이에 따라서 자료의 편향성을 나타내는 단점을 가지고 있다(Parkinson *et al.*, 1994; Hansson and Rudstam, 1995). 이러한 이유로 인하여 어류 종조성을 확인할 수 없는 음향학적 조사방법은 직접적인 어류 조사방법과 일반적으로 병행하여 사용되어 왔다(Levy *et al.*, 1991; Beauchamp *et al.*, 1997; Yule, 2000; Kahilainen *et al.*, 2004; Hrabik *et al.*, 2005). 환경선진국인 유럽에서도 호수에서 어류군집의 자원량을 파악하기 위한 음향학적 조사 시 중층 채집용 트롤을 병행하여 측정된 자료의 종조성을 파악하는데 이용하고 있다(Jurvelius *et al.*, 1988; Mehner and Schulz, 2002; Schmidt *et al.*, 2005; Mehner, 2006). 그러나 트롤을 이용한 조사 방법은 조사비용 즉, 보트 및 트롤 장비의 임대료에 소요되는 많은 비용 등으로 제한될 수 있는 단점이 있다. 이러한 이유로 인하여 주로 자망이 음향학적 조사를 보완하는 어구로 많이 사용되고 있다(Beauchamp *et al.*, 1995; Hardiman *et al.*, 2004).

따라서 본 연구는 첫째, 새로운 개념의 음향학적

모니터링 기법(Echo-sounder monitoring technique, E_s)을 적용하여 영산강 수계에 건설된 인공보 지역의 어류군집에 대한 시·공간 분포 특성 및 어류 이동성을 평가하였으며, 둘째, 다양한 어구를 이용하는 기존의 모니터링 기법(Conventional fish sampling technique, C_s)을 이용하여 어류군집의 종조성 분석을 실시하였다. 최종적으로 음향 조사로부터 얻어진 음향 자료와 다양한 어구(정치망, 삼중자망, 투망, 죽대)를 통해 얻어진 어류 종조성 자료를 비교·분석하여 인공보(승촌보, 죽산보) 건설이 어류군집의 안정성에 미치는 영향을 분석하였으며, 인공보의 존재가 어류군집의 분포에 미치는 영향을 분석하여 인공보에 대한 어류군집의 영향을 평가하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 조사지 개황

본 연구는 음향 기법을 이용한 어류의 시·공간 구조 및 어군의 안정성을 측정하기 위하여 영산강 수계에 건설된 2개의 인공보(승촌보, 죽산보) 지역을 대상으로 현장조사를 실시하였다. 실험관측 대상지인 영산강 수계는 우리나라 서남부(E 126° 27' 17" - 127° 05' 50", N 34° 48' 09" - 35° 29' 25") 사이에 위치하고 있으며, 총 유역면적은 3,371.3 km² 이고 본류의 유로 연장은 136.0 km, 동서와 남·북간의 최장거리가 각각 61.3 km, 89.7 km, 유역의 평균 폭은 26.5 km로 우리나라 4대강 중 4번째로 큰 강이다. 영산강 본류로 유입되는 주요 지류로서는 황룡강, 광주천, 지석천, 고막원천, 함평천, 만봉천 등 6개의 주요 지류가 유입되고 있으며, 각 지류들은 영산강 수계의 수질에 많은 영향을 미치고 있다(오강호, 2007). 영산강 수계의 주변 유역으로는 북쪽으로 동진강 유역, 동쪽으로는 섬진강유역과 접해 있으며, 나주시를 중심으로 큰 지류가 합류하여 방사형을 이루고 있다. 영산강 유역의 평균고도가 약 EL. 104.4 m의 비교적 평탄한 지역으로 하천연안을 따라 평야가 발달하여 대규모의 곡창지대

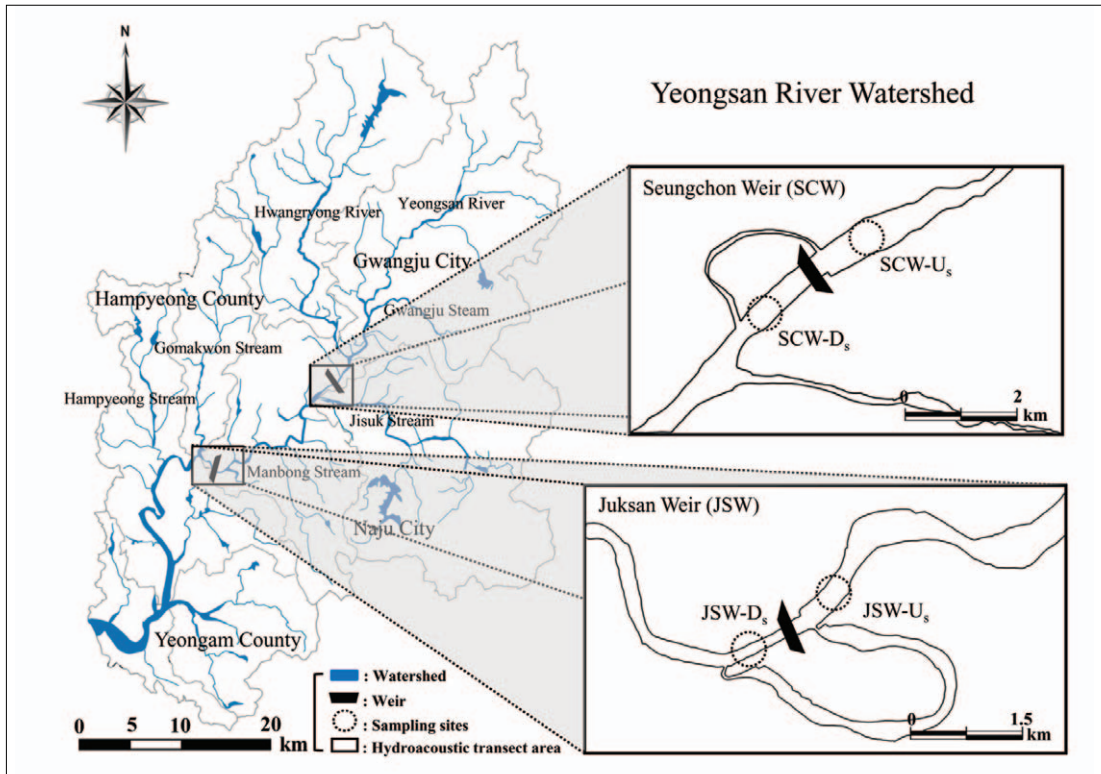


Fig. 1. Map showing each sampling site and weir newly constructed in the Yeongsan River Watershed.

를 이루고 있다. 본 연구 대상인 2개의 인공보는 영산강 본류의 중하류에 위치하고 있으며, 이중 중류부에 위치한 승촌보는 광주광역시 남구 승촌동(E 126° 76' 40", N 35° 06' 48")에 위치하고 있으며 관리수위 El. 7.5 m, 보 높이가 9.0 m, 보 길이 540 m, 승강식 가동보이다. 한편, 하류부에 위치한 죽산보는 전남 나주시 다시면 죽산리(E 126° 62' 92", N 35° 06' 48")에 위치하고 있으며, 관리수위 El. 3.5 m, 보 높이가 4.85 m, 보 길이 622 m, 수문 형식은 승강식 가동보이다. 각 인공보에는 풀형 아이스 하버식 어도가 설치되어 있으며, 승촌보는 보의 우측 연안에 직접 건설되어 있는 반면, 죽산보는 보를 우회하는 자연형 수로(구하도)의 좌안 연안에 건설되어 있다(Fig. 1).

2. 음향학적(Echo-sounder) 어류군집 조사

영산강 본류에 건설된 인공보 상·하류 구간에서 어군 분포 특성을 파악하기 위하여 인공보를 중심

으로 상·하류 2 km 구간을 선정하여 음향학적 조사(Echo-sounder monitoring technique, E_s)를 실시하였다. 음향 조사는 수체 안정기인 2011년 6월과 9월에 걸쳐 총 2회 어류 조사를 실시하여, 각 구간에 서식하는 어류의 밀도 및 어군의 분포특성을 분석하였다. 음향학적 어류 모니터링은 어군탐지기(HDS-8, LOWRANCE) 및 Sidescan sonar(Sportscan, Imagenex Technology)를 이용하여 인공보 주변 어군 밀도를 측정하였다. 음향학적 조사에 사용된 어군탐지기의 시스템 구성은 프린터(HDS-8), 송수신기(HST-WSBL), 지시기(16-bit color Super VGA SolarMAX™ PLUS TFT), 이미지소나(LSS-1), 신호처리 장치로 구성되어 있다. 조사에 사용된 송수신기는 보트 선체 바닥에 부착하여 측정할 수 있는 모델을 적용하였으며, 이를 선체에 부착하여 사용하였다. 송수신부에서 측정되는 데이터를 지시기를 통하여 연속적으로 프린터(HDS-8)의 하드디스크에 수록하였다. 기록된 echo-

sounder 신호는 후일 연구실에서 Sonarviewer 2.1 소프트웨어를 이용하여 후처리 과정을 거치고, 그 결과를 출력하여 생물체(어류)의 개체수를 측정하여 어군의 풍부도 및 밀도를 분석하였다.

어군 탐지기에 결합한 이미지소나(LSS-1) 장비를 이용한 음향조사는 200 kHz에서 800 kHz의 주파수를 모두 적용하여 사전에 설정된 조사선(Survey line)상을 연속적으로 향해하면서 측정하였고, 측정된 수심 범위는 얇은 곳은 연안부의 수심 1 m에서 10 m의 깊은 곳까지 어군을 탐지하였다. 수신된 음향자료는 표층 부근에서 발생하는 캐비테이션 잡음, 항주 중에 발생하는 잡음 등 모든 잡음을 제거하여 어류에 의한 신호만을 추출하였다. 이와 동시에 기존의 전통적인 어구를 이용한 어류 모니터링 기법을 조사구간을 중심점으로 선정한 임의의 지점에서 조사를 실시하였다. 본 연구는 인공보 상·하류에 서식하는 어류 풍부도를 정량적으로 비교, 분석하기 위하여 사전에 인공보 주변의 위성사진을 이용하여 선정된 지점에 조사라인(Survey line)을 설정하여 echo-sounder에 의한 어군 echo 신호를 기록하여 분석하였다. 음향 조사를 위한 조사선 수는 각 구간에서 사전에 설정한 125 m 간격의 16개의 음향 정선(Survey line)을 7 - 8 km h⁻¹의 속도로 항주하면서 연구기간 동안 총 2회에 걸쳐서 동일한 정선을 측정하였으며, 정선 사이의 간격이 일정한 평행 정선(Parallel transect) 방식을 적용하였다. 또한 수층별 어류 분포를 알아보기 위하여 모든 음향 자료에서 표층의 잡음을 제거한 후 수표면에서 하저면을 1 m 수층으로 분리하여 수층별로 측정된 자료를 분석하여 어군의 수직 분포 특성을 분석하였다.

3. 어구를 이용한 어류군집 조사

이 구간에 서식하는 어군의 종조성을 파악하기 위하여 각 지점에서 총 4가지의 어구(Sampling gears)를 가지고 어류채집을 실시하였다. 채집에 사용된 어구는 투망(Casting net), 족대(Kick net), 정치망(Fyke net), 삼중자망(Trammel net)

으로서, 비교적 수심이 얇은 연안부에서는 투망(망목 : 7×7 mm)과 족대(망목: 4×4 mm)를 이용하여 지점을 중심으로 상·하류 200 m 구간을 60분 동안 어류 채집을 실시하였다. 반면 투망을 이용한 조사가 어려운 수심이 깊은 구간에서는 정치망(망목: 5×5 mm, 높이: 2.4 m, 길이: 20 m, 원통발)과 삼중자망(망목: 12 mm, 45 mm, 높이: 1 m, 길이: 50 m)을 이용하였으며, 설치 후 24시간 이후에 어획물을 수거하였다. 어류의 효율적인 채집을 위하여 조사인원은 현장 채집 경험이 3년 이상인 조사원을 포함하여 3인 1조로 하였다. 채집된 어류는 현장에서 동정, 분류 및 개체수 산정을 한 후, 바로 놓아주는 것을 원칙으로 하였다. 동정이 모호한 종의 경우 10% 포르말린 용액에 고정한 후 실험실로 운반하여 김익수(1997), 김익수와 박종영(2002)의 도감에 의거하여 동정하였다.

4. 물리적 서식지 평가

영산강의 인공보의 상·하류 구간의 서식지 변화를 분석하기 위하여 물리적 서식지 평가를 실시하였으며 평가에 사용된 모델은 Plafkin *et al.*(1989)에 의해 도입된 서식지평가 정성지수(Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI) 및 이를 수정한 Barbour *et al.*(1999)의 서식지평가지수를 바탕으로 하여 모델보정을 거친 안광국과 김자현(2005)의 평가모델을 적용하였다. 현장 적용 및 평가는 2011년 6월과 9월에 각각 수행되었다. 물리적 서식지 건강도 평가를 위한 메트릭 모델은 M₁: 하상구조/서식처 피복도(Substrate/instream cover), M₂: 하상매몰도(Embeddedness), M₃: 유속/수심 조합(Flow velocity/depth combination), M₄: 하상유실 및 토사축적도(Bottom scouring and sediment deposition), M₅: 유량 상태(Channel flow status), M₆: 수로 변경도(Channel alteration), M₇: 여울 빈도 및 하천굴곡도(Frequency of riffles or bends), M₈: 제방 안정도(Bank stability), M₉: 제방식생 보호도(Bank vegetative protection), M₁₀: 천변 식생대의 폭(Riparian vegetative zone

width) 및 M_{11} : 소규모 댐의 존재유무(Dam construction impact)의 11개 메트릭으로 구성되었다. 각 변수 값의 등급구분은 US, EPA(1993)의 기준에 의거하였다.

5. 자료 분석

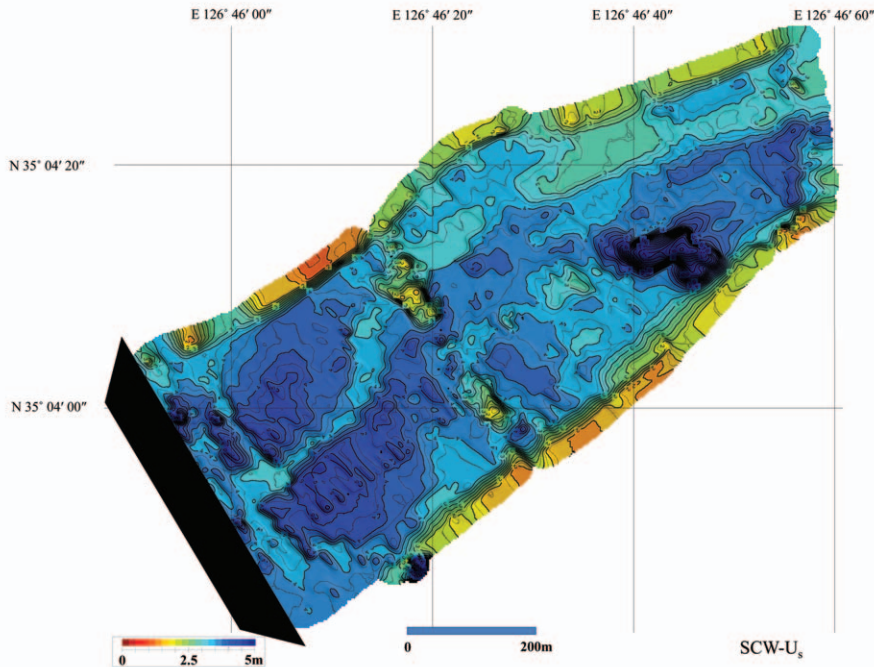
조사 지점에 대한 수심 및 하상지형도 작성은 DrDepth(Version 4.1 with Lowrance, Standard + Bottom type + Sidescan, 2010) 소프트웨어를 이용하여 하상지형도를 작성하였다. 지형도는 로렌스(HDS-8, LOWRANCE)의 어군탐지기 기록 기능을 이용하여 별도의 SD 메모리카드에 데이터를 저장한 후, 노트북이나 PC에서 DrDepth 프로그램을 이용하여 저장된 자료를 바탕으로 하상 지형도를 작성하였다. 본 연구에서 인공보의 상·하류 구간의 어류 종 조성에 차이 유무를 판단하기 위하여 통계분석을 실시하였다. 각 보를 기준으로 상·하류구간 간의 어류군집 분포 및 종조성의 차이를 비

교·분석하기 위하여 통계분석을 실시하였으며, 사용된 통계 프로그램은 SPSS(Version 20.0 IBM SPSS Statistics for windows, 2011) 통계 패키지를 이용하여 분석을 실시하였다. C_s 기법을 이용하여 각 구간에서의 채집된 어류 종조성 자료는 대응표본 T-검정(Paired samples t-test) 분석에 적용하였고, E_s 기법을 통하여 산출된 자료는 독립표본 T-검정(Independent samples t-test) 분석을 적용하여 인공보 상·하류간 어류 개체 풍부도 및 종조성의 차이를 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

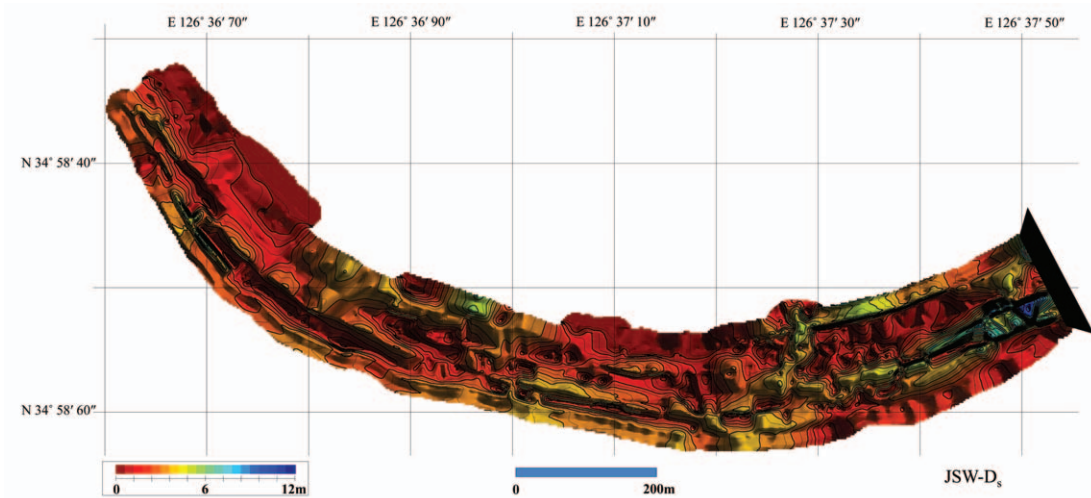
1. 인공보 상·하류 구간의 하상 지형 특성

인공보 설치 이전의 영산강 본류에 대한 하상특성은 전반적으로 자갈 5%, 모래 35%, 저질 60%로 주로 세립질 퇴적물로 구성되어 있는 것으로 보고되었는데(오강호, 2007), 본 연구의 음향 조사 결과



(a) Upstream of Seungchon Weir

Fig. 2. Bathymetric map of upstream area of Seungchon weir and downstream area of Juksan Weir in the Yeongsan River watershed. The hydroacoustics survey completed in September 2011.



(b) Downstream of Juksan Weir

Fig. 2. Continued

에서는 전반적으로 수심이 평균 3 ~ 4 m 정도의, 비교적 평탄한 하상 지형특성을 보이는 것으로 분석되었다. 특히, 보로부터 상류 200 m 구간은 계획 수위를 고려한 준설 공사로 인하여 수심이 5 ~ 7 m로 깊고, 하저(Riverbed)가 매우 평탄화되어 있으며, 보 주변의 연안부 경사도는 본류 중심으로 수심이 급격히 증가하는 지형특성을 나타내는 것을 알 수 있었다(Fig. 2a). 지점별 특성을 살펴보면, 승촌보 상류는 보와 가장 멀리 떨어진 상류부의 경우, 수심이 2 ~ 3 m의 모래와 자갈로 구성된 하상구조 특성을 보이고 있으며, 완만한 하저와 느린 유속으로 인하여 연안부에 약간의 수생식생대가 존재하고 있으나, 승촌보 지점으로 갈수록 수심이 깊고, 하저가 불규칙하며, 연안대에 수생식생대가 전혀 존재하지 않는 특성을 보이고 있었다. 승촌보 하류 구간은 2 km 구간 전체의 수심이 1 ~ 2 m로 매우 얇은 특성을 보이고 있으며, 하상 정비 공사로 인하여 하상은 단순화 및 획일화 되어 있고, 하안은 하천정비로 인하여 어류가 서식할 수 있는 정수식물 식생대가 전혀 존재하지 않았다. 한편, 죽산보 상류 구간의 평균 수심은 약 3 m로 구성되어 있으며, 부분적으로 얇은 연안부 선을 따라 수생식생대가 집중적으로 발달되어 있음을 알 수 있는데, 이 구간도 역

시 인공보 지점으로 갈수록 수심이 6 ~ 7 m로 깊어지고, 하상이 모래에서 저질로 급격히 변화하는 특성을 보였다. 이 지점에서는 수체의 저류현상으로 인하여 하상에 침하성 및 퇴적성 매물이 발생할 우려가 있는 것으로 사료된다. 죽산보 하류구간은 준설선을 이용한 준설작업이 진행되고 있었으며, 보와 근접한 구간의 수심은 5 ~ 6 m로 깊고 하저면이 고르지 못한 특성을 보이다가 하류로 갈수록 수심이 3 ~ 4 m, 하저면이 완만해지는 특성을 보였다(Fig. 2b).

2. 인공보 상·하류 구간의 물리적 서식지 평가(QHEI)

정성적 서식지 평가지수(Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI)에 따르면, 상류에 위치한 승촌보 구간(64.5)에 비하여 하류에 위치한 죽산보 구간에서 QHEI 평균값은 111.0으로 물리적 서식지 상태가 보통상태(Fair)인 것으로 평가되었다. 구간별 물리적 서식지 평가 결과, 승촌보 하류구간(S2)에서 QHEI 평균값은 45로서 “악화상태(Poor)”를 보였으며, 죽산보 하류구간(S4)에서 131.5로 “양호상태(Good)”를 보이는 것으로 평가되었다. 승촌보 구간의 경우 상류구간에 비하여 하류구간의 서식지가 악화되어 있는 것으로 분석되었으며, 죽산보 구간의 경우 상류구간이 하류구간 보다

Table 1. Qualitative Habitat Evaluation Index (QHEI) at four sampling sites in the Yeongsan River.

Habitat Parameters	Sampling Sites							
	SCW-U _s		SCW-D _s		JSW-U _s		JSW-D _s	
	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd
M ₁ Substrate / Instream cover	8	10	3	3	3	8	3	6
M ₂ Embeddedness	15	15	5	5	6	10	13	13
M ₃ Flow velocity / Depth combination	13	6	3	11	3	15	13	15
M ₄ Sediment deposition	18	6	6	16	16	20	20	20
M ₅ Channel flow status	16	6	6	16	11	20	20	20
M ₆ Channel alteration	8	6	1	1	8	8	10	13
M ₇ Channel sinuosity	1	1	1	1	6	6	10	10
M ₈ Bank stability	8	6	4	0	8	8	10	13
M ₉ Bank vegetative protection	4	2	2	0	6	8	12	16
M ₁₀ Riparian vegetative zone width	9	8	0	0	5	5	10	10
M ₁₁ Dam construction impact	1	1	3	3	1	1	3	3
Total Score (Criteria)	101 (F)	67 (F)	34 (P)	56 (P)	73 (F)	108 (F)	124 (G)	139 (G)

SCW-U_s: Seungchon weir upstream, SCW-D_s: Seungchon weir downstream, JSW-U_s: Juksan weir upstream, JSW-D_s: Juksan weir downstream, Criteria: 'Ex'- excellent, scores (182-220); 'G'- good, scores (124-168); 'F'- fair, scores (66-110); 'P'- poor, scores (8-52).

서식지 상태가 악화되어 있는 것으로 평가되었다. 인공보 상·하류간의 물리적 서식지에 있어서 심각한 차이를 보이는 것으로 분석되었다(Table 1).

승촌보의 물리적 서식지 평가 결과, 11개 평가 메트릭 중 3개 메트릭을 제외한 전 항목의 메트릭값이 상류구간에 비하여 하류구간에서 뚜렷이 감소하는 것으로 분석되었다(Table 1). 상·하류 구간 간 각 메트릭별 분석 결과, 어류의 서식지 공간을 나타내는 M₁은 상류구간이 “양호상태”인데 비하여 하류구간은 “악화상태”를 보였으며, 하천 바닥면의 상태를 나타내는 M₂는 상류구간이 “양호상태”인데 비하여 하류구간은 “악화상태”를 보여 하류구간의 서식지가 악화되어 있는 것으로 분석되었다. 또한 하천 서식지의 다양성을 나타내는 M₃은 하상의 준설 및 평탄화 작업으로 인한 하상구조 직선화와 단순화의 영향으로 상·하류구간 모두 “보통상태”를 보였으나, 하류구간이 더 낮은 점수를 보인 것으로 분석되었다. 퇴적물의 정도에 따라 하천의 서식지가 불안정해지고, 지속적인 변화로 인해 적절하지 못한 서식 환경을 반영하는 M₄와 하천의 수량 상태를 평가하는 M₅는 인공보 수문 개방 여부에 따라서 상·하

류간 극명한 차이를 보였다. 하천수로의 형태를 평가하는 M₆, 제방 안정도를 평가하는 M₈, 하천에 대해 인간의 활동으로 인한 영향 정도를 측정하여 평가하는 M₁₀은 상류 구간에서 “보통상태”를 보이는 것으로 나타났지만 하류구간에서는 “악화상태”를 보이는 것으로 나타나 하류구간의 하천 변경이 심각한 것으로 평가되었다. M₇(하천 굴곡도), M₉(천변 식생대 폭)는 M₁₁(소규모 댐의 건설 유무)은 상류와 하류의 차이가 없이 전반적으로 낮은 점수를 나타내었는데, 이는 보 건설과 호안 정비작업으로 인한 제방을 인위적으로 조성하여 서식지가 교란되었기 때문인 것으로 판단되었다. 한편, 죽산보의 경우 물리적 서식지 변수 11개 평가 메트릭 중 1개 메트릭(M₁)을 제외한 전 항목이 하류구간에서 더 높은 값을 보이는 것으로 분석되었다(Table 1). 상·하류 구간 각 메트릭별 분석 결과, M₂, M₃, M₆, M₈, M₉은 하류구간에서는 “양호상태”를 보이는 반면, 상류구간에서는 “보통상태”를 보이는 것으로 분석되었고, 하천 바닥면의 상태를 나타내는 M₁과 어류의 이동 단절을 평가하는 M₁₁은 상·하류 구간 모두 “악화상태”를 보였다. 퇴적물의 정도에 나타내는 M₄는

상·하류 구간 모두 “최적상태”로 나타났는데, 이는 죽산보가 영산강 수계의 하류부에 위치하고 있기 때문에 풍부한 수량이 반영된 것으로 사료되었다. 한편 M_7 은 “보통상태”를 보였으며, 상류구간 비해 하류구간이 더 높은 값을 보이는 것으로 나타났다. 전반적으로 죽산보는 승촌보와 달리 상류보다는 하류에서 더 양호한 서식지 상태를 보이는 것으로 평가되었다. 어군탐지기를 이용한 음향적으로 탐지된 어류군집 자료와 물리적 서식지 평가(QHEI) 간의 회귀분석결과, 어류의 풍부도는 물리적 서식지 상태와 유의한 상관관계($r^2 = 0.503, p = 0.049$)를 보였으며, 시기별로 인공보 건설이 진행되고 있는 1차 조사시기(6월)에 심각한 물리적 서식지 교란을 발생되어 어류 풍부도가 낮은 것으로 나타났다. 또한 하천의 변경 및 물리적 서식지의 교란이 심각한 지점들에 비하여 서식지의 교란이 상대적으로 적은 죽산보 하류구간에서 어류 풍부도가 가장 높은 것으로 나타나, 특히 저서성 어류 밀도에 있어서도 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 서식지의 질적 상태가 생물학적 다양성 및 풍부도가 매우 높은 연관성을 보이고 있음을 나타내는 중요한 결과로서, 서식지가 하천 생태계의 구조와 기능에 있어서 큰 영향을 주는 것으로 판단된다(Raven

et al., 1998). 따라서 인공보 건설로 인하여 발생된 물리적 서식지 변화는 영산강 수계의 수중 생태계 시스템에서 주요한 스트레스 요인으로 판단되며 (Karr *et al.*, 1986), 이러한 서식지의 질적 저하가 영산강수계의 수중생태계에 서식하는 종 풍부도 및 다양도를 감소시키고, 내성이 강한 종들의 우점에 따른 영양구조의 단순화를 초래할 것으로 사료된다.

3. 어류군집의 수평 및 수직분포 특성

Echo-sounder 모니터링을 통한 공간별 어류 분포 특성에 따르면, 승촌보 상류 및 하류구간에서 탐지된 어류 개체수는 각각 1,994개체, 2,911개체로서 하류가 상류에 비하여 20% 정도 높은 것으로 나타났으며, 죽산보 상류 및 하류 구간에서는 각각 21,316개체, 32,816개체로서 하류가 상류에 비하여 20% 이상 높은 것으로 나타났다(Fig. 3). 이 자료에 따르면, 인공보를 중심으로 하류의 어류 풍부도가 상류에 비하여 높은 것으로 나타나, 어류 풍부도에 있어서 차이를 보이는 것으로 나타났다. 각 구간별 분포 특성 결과, 승촌보 상류구간은 어류 개체수가 하류로 진행될수록 감소하다가, 인공보 근처로 갈수록 증가하는 경향을 보였다. 반면, 승촌보 하류구간은 하류로 진행될수록 어류 개체수가 감소하는

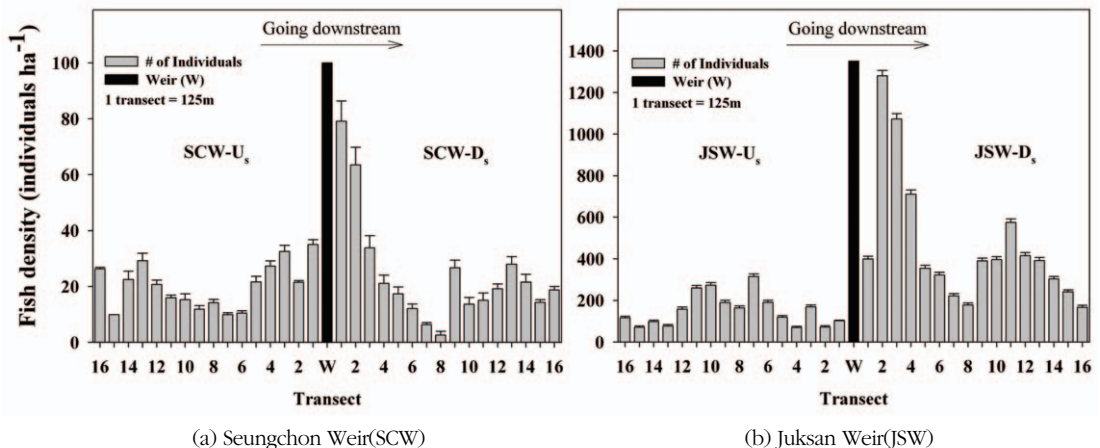


Fig. 3. Fish density at the weir(W, upper panel) and the average \pm SD(lower panel) using a hydroacoustic survey technique in the Yeongsan River on September 2011. The horizontal transducer observed fish at depths between 1 and 8.0 m, whereas the vertical transducer observed fish from 8.0 m to the bottom of the reservoir. One horizontal unit means 125 m distance.

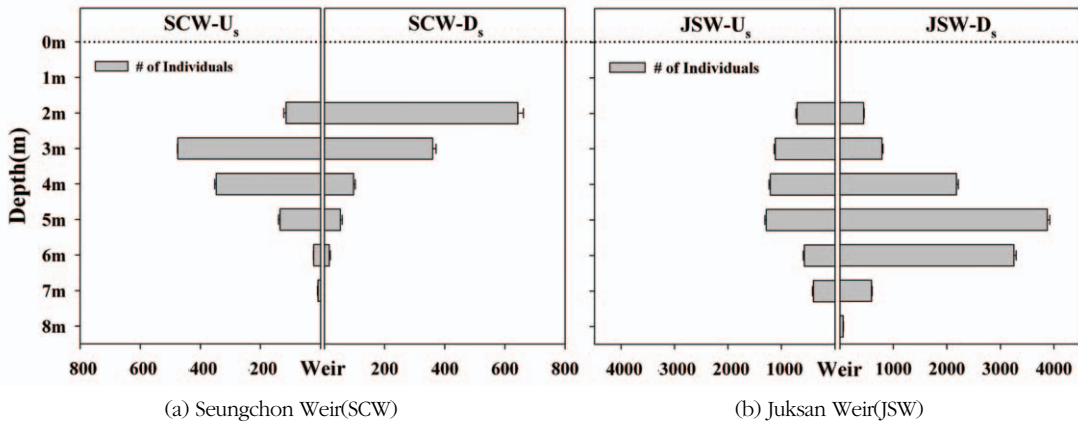


Fig. 4. Echo-sounder images of sidescan sonar at upstream site of Seungchon Weir and downstream site of Juksan Weir in the Yeongsan River Watershed.

것으로 나타났다(Fig. 3a). 죽산보 상류구간은 얇은 수심으로 인하여 전 구간에서 탐지된 어류 개체수 적었지만, 댐축으로 갈수록 증가하는 수심으로 인하여 어류 개체수도 증가하는 것으로 나타났다. 특히 수변에 식생대가 잘 발달된 연안부 구간에서 더 많은 개체수가 탐지된 것으로 나타났다. 죽산보 하류구간은 상류구간에 비하여 1.5배 이상의 어류 개체 풍부도를 보이는 것으로 분석되었으며, 하류로 갈수록 어류 개체수가 감소하는 것으로 분석되었다(Fig. 3b). 어류는 먹이를 구하고, 산란하고, 성장하고, 집단에서 분산하고, 위험으로부터 도피하기 위해 반드시 이동해야만 하는데(McKeown, 1984; Harvey, 1991; Fausch and Young, 1995), 이처럼 인공보 하류구간에서의 높은 어류 밀도는 어류들이 인공보로 인하여 상류로 올라갈 수 있는 통로가 차단되어 많은 어류들이 소상하지 못하고, 인공보 아래 구간에 집약적으로 분포하고 있기 때문에 나타난 결과로 사료되었다. 이는 하천의 흐름을 장애를 일으키는 댐, 보, 배수암거, 기타 일상적인 수공구조물의 건설이 어류의 이동을 제한하는 물리적인 장애물로 서식처와 개체수를 분리시킨다는 연구 결과와도 일치한다(Harris, 1984; Jacobs, 1990; Mallen-Cooper *et al.*, 1995). 또한 어류의 횡적 분포특성에서도 연안부에 비하여 본류의 중심으로 갈수록 탐지되는 개체수가 감소하였는데, 이와 같

은 결과는 계획수위를 위한 본류 중심부의 준설작업이 어류 분포에 있어서 간접적인 영향을 미치는 것으로 사료되었다.

Echo-sounder 모니터링을 통한 어류의 수직 분포 특성에 따르면, 최대 수심 8 m까지 어류가 탐지되었으며, 전 수층별로 탐지된 어류 분포 결과, 표층부(1 ~ 3 m)에서 10.1%, 중층부(3 ~ 5 m)에서 63.6%, 심층부(6 ~ 8 m)에서 26.3%의 개체가 분포하는 것으로 분석되어 중층에 분포하는 어류의 개체수가 매우 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 저층부의 적은 어류 분포는 인공보 상·하류구간의 준설작업으로 인하여 발생하는 탁수 및 하상교란, 주요지류로부터 유입되는 각종 유기물 및 오염물질로 인한 하상구조의 단순화가 직접적으로 영향을 주는 것으로 사료되었다(Fig. 4). 각 구간별 어류의 수직분포 특성 결과, 승촌보 구간은 2 ~ 3 m의 중층부에서 어류 대부분이 분포하고 있는 것으로 탐지되었으며, 주로 본류의 중심보다는 연안부의 사면에 주로 분포하는 것으로 나타났다. 승촌보 하류구간은 특히 수심이 2 ~ 3 m를 갖는 경사면 지역의 수층에 집중적으로 분포하는 것으로 나타났으며, 저층에 분포하는 어류는 매우 빈약한 것으로 분석되었다(Fig. 4a). 이처럼 승촌보 구간이 저층어류에 비하여 중층 서식하는 부어류가 강하게 우점하는 것으로 나타났는데, 이는 하상 서식지의 물리적

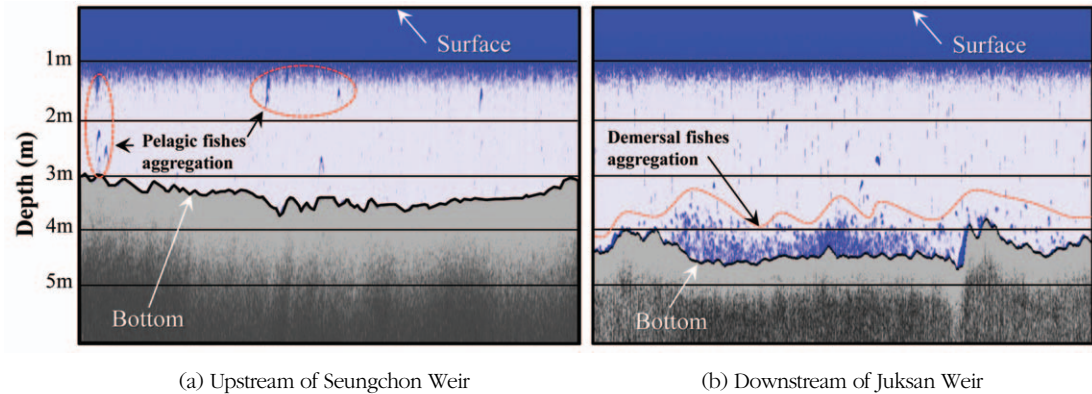


Fig. 5. Vertical distribution of observed fish acoustically detected by the vertically oriented transducer(each one meter transaction) on the Yeongsan River in September, 2011.

인 교란과 더불어 시기적 우점종의 차이가 반영된 것으로 사료되었다(Fig. 5a). 죽산보의 상류구간에서도 표층과 저층에는 많은 어류가 탐지되지 않았으며, 주로 중층 부근의 많은 개체가 분포하고 있는 것으로 나타났다(Fig. 4b). 반면, 평균 수심이 5 ~ 6 m인 죽산보 하류구간에서는 대부분의 어류는 수심 4 ~ 6 m의 심층부에서 집중적으로 탐지되고 있으며, 탐지 위치는 급격한 경사면의 끝 지점에서 완만한 경사면이 형성된 지점까지 골고루 분포하는 것으로 분석되었다. 또한, 심층부에서도 대부분의 어류가 해저면으로부터 0.5 ~ 1 m의 상부에 분포하였으며, 대부분은 수심이 5 m 이내의 저층 부근에서 어류가 집중적으로 분포하는 것으로 나타났다(Fig. 5b). 이와 같은 결과는 죽산보 하류구간이 직접적인 하상정비 작업이나 심각한 서식지 변화로 인한 교란발생이 적어 다른 구간들에 비하여 하상 서식지 상태가 양호하기 때문에 저층어류가 높은 풍부도를 보이는 것으로 분석되었으며, 이는 다른 인공보 구간과 비교하였을 때, 반대되는 결과로서 서식지 상태가 어류 군집 분포에 있어서 중요한 요인으로 작용하고 있음을 간접적으로 시사하는 것으로 사료되었다.

4. 전통적인 모니터링 기법(C_g)을 통해 채집된 어류 종조성 분석

본 조사 기간 동안 4개의 어구(투망, 족대, 정지

망, 삼중자망)을 이용하여 채집된 영산강 본류의 어류는 총 12과 36종 4,867개체로서 최대 우점종은 *꼬리(Opsarichthys uncirostris amurensis)*로서 전체 채집된 종의 31.9%의 상대풍부도를 보였으며, *웅어(Coilia nasus)*, *치리(Hemiculter eigenmanni)*가 상대풍부도 10%를 상회하는 어종들로 나타났다(Table 2). 최근 영산강 수계에서 보고된 연구(Choi and An, 2007)에 의하면 인공보 건설이 시작되기 전인 2007년도의 어류자료에서는 영산강 수계 우점종이 *피라미(Zacco platypus)*로 전체 채집된 종의 23%의 높은 상대풍부도를 나타냈으며, *꼬리*의 상대풍부도는 2% 미만의 상대풍부도를 보이는 것으로 나타나 우점종에 있어서 본 연구결과와 차이를 보였다. 이는 대표적 여울성 어종의 *피라미*가 인공보 건설로 인한 유속 및 여울 서식처의 감소가 *피라미* 상대풍부도에 직접적인 악영향을 주었으며, 이와 더불어 여울과 소의 구분 없이 대부분의 서식지에 잘 적응하는 *꼬리* 및 *치리*가 영산강 본류의 전 구간에 우점하여 분포하게 된 것으로 사료된다. 출현빈도가 높게 나타난 종 중 *꼬리*를 포함한 몇몇 종들은 유속이 완만하고 정체된 수역을 선호하는 종들로서 영산강 인공보 건설로 인하여 점차 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 영산강 인공보 건설에 의하여 늘어난 정체구간과 유속 및 수심 등의 수리·수문학적 특성 변화가 어류 분포에 주요인으로 작용된 것으로 사료되며, 영산강 수계에서 이들이

차지하는 비율이 점차 증가할 것으로 예상되었다.

시기별 어류 군집 분포 특성을 분석한 결과, 1차 조사시기에 27종 2,422개체가 채집된 반면, 2차 조사 시기에 30종 2,445개체가 채집되어 시기별 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 지점별 어류 군집 분포 특성을 분석한 결과, 죽산보 하류구간이 27종 1,680개체가 채집되어 가장 많은 종이 채집되었으며, 승촌보 상류 구간이 21종 937개체로 가장 적은 종과 개체수가 채집되었다. 지점별로 종수는 상류에서 하류로 갈수록 증가하는 것으로 나타났으며, 개체수는 인공보를 중심으로 상류구간보다 하류구간에서 더 많은 개체가 채집되는 것으로 분석되었다(Table 2). 각 지점별로 우점하는 종을 살펴보면, 승촌보의 상류구간에서는 치리가 43.2%로 높은 우점도를 보였고, 나머지 3개 구간에서는 끄리가 각각 21.3%, 29.7%, 49.3%로 높은 우점도를 보였으며, 하류로 갈수록 상대풍부도가 증가하는 것으로 분석되었다. 영산강 수계에서 출현한 어종 중 회귀성 어류(Anadromous fish) 어류인 웅어는 승촌보 하류구간까지 나타났으나, 개체수 측면에서 죽산보 하류에서 승촌보 하류로 가면서 큰 폭으로 감소하는 양상을 보였으며, 1차 조사시기에 2차 조사시기에 비하여 더 많은 개체가 채집되었는데, 이는 웅어가 산란을 위하여 6~7월에 강으로 소상하는 시기와 동일하기 때문에 나타난 결과로 사료된다. 기수성 어류(Brackish water fish)인 승어(*Mugil cephalus*)도 승촌보 하류구간까지 출현하는 것으로 나타났다. 각 인공보의 상·하류 구간의 종조성의 차이를 분석한 결과, 하류구간에 비하여 상류구간의 어류 종 다양도 및 상대풍부도가 낮은 것으로 분석되었다(Fig. 6). 승촌보 구간 중 상류에 비하여 하류에서만 출현한 어류는 웅어, 밀자개(*Leiocassis nitidus*)의 5종으로 분석되었으며, 각 어종의 개체수 비교에서도 치리를 제외한 대부분 어종의 개체수가 상류에 비하여 하류에 더 풍부하게 분포하는 것으로 분석되었다. 반면 상류구간에만 출현한 어종으로는 밀어(*Rhinogobius brunneus*), 돌마자(*Microphysogobio yaluensis*)와 같은 바위 및 자

갈로 구성된 서식지를 선호하는 저서성 어종으로 하류구간에서는 출현하지 않았다. 죽산보 구간에서는 백조어(*Culter brevicauda*)를 비롯한 6종이 하류구간에서만 출현하였고, 중고기(*Sarcocheilichthys nigripinnis morii*)를 비롯한 2종이 상류구간에서만 출현한 것으로 나타났다. 또한 상·하류구간에서 채집된 어류의 개체 풍부도에 있어서도 2배 이상 차이를 보이는 것으로 나타나, 인공보가 이들의 분포에 있어서 차이를 주고 있는 것으로 분석되었다(Mallen-Cooper *et al.*, 1995).

인공보의 건설이 어류 분포에 있어서 미치는 영향을 분석하고자 각 인공보 상·하류 구간의 어류 종조성을 비교·분석하였다. 분석에 사용된 자료는 Echo-sounder 모니터링 기법(E_s)을 통해 산출된 어류 개체수 자료와 전통적인 모니터링 기법(C_s)을 통해 얻어진 자료를 이용하상 하류 구간별 어류 종 조성 차이를 분석하였다. Echo-sounder 모니터링 기법(E_s)을 통하여 산출된 자료를 이용한 독립표본 T-검정(Independent samples t-test) 분석 결과, 승촌보에서는 $F = 2.197$, $t = 0.200$, $n = 30$, $p = 0.843$ 으로 분석되어 상·하류간 유의한 차이가 없는 것으로 분석된 반면, 죽산보에서는 $F = 4.033$, $t = 3.506$, $n = 30$, $p = 0.001$ 로 상·하류간 종조성에 있어서 유의한 차이를 보이는 것으로 분석되었다(Table 3).

전통적인 모니터링 기법(C_s)을 통해 얻어진 자료를 바탕으로 상관분석(Correlation analysis) 결과, 대응변수들 간의 상당히 높은 양의 상관성이 있는 것으로 분석되었다. 이에 따라서 대응표본 T-검정(Paired samples t-test) 분석을 실시하였으며, 분석된 결과, 승촌보 인공보 상·하류 구간($t = 1.385$, $p = 0.175$)에서는 어류 종조성에 있어서 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 분석된 반면, 죽산보($t = 0.248$, $p = 0.048$)에서는 상·하류 구간별 어류 종조성에 있어서 유의한 차이를 보이는 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는 죽산보는 어류 분포 및 이동에 있어서 더 많은 장애를 미치고 있는 반면, 승촌보는 어류 종조성에 유의한 차이를 주지

Table 2. Fish fauna and distribution based on conventional sampling methods at up and downstream sites from two weirs in the Yeongsan River.

Species	Ab.	SCW-U _s		SCW-D _s		JSW-U _s		JSW-D _s		Total
		1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	
<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>	<i>O. un</i>	20	145	48	232	4	275		828	1,552
* <i>Hemiculter eigenmanni</i>	<i>H. ei</i>	404	1	146	60	21	68	11	14	725
<i>Coilia nasus</i>	<i>C. na</i>			100		139	11	419	26	695
<i>Hemibarbus labeo</i>	<i>H. la</i>	19	45	123	46	81	18	20	48	400
<i>Micropterus salmoides</i>	<i>M. sa</i>	72	8	135		5	4	111	2	337
* <i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>	<i>S. cb</i>	3	26	47	18	39	3	30	16	182
<i>Acanthorbodeus macropterus</i>	<i>A. ma</i>	6	13	2	48	7	7	20	60	163
<i>Leiocassis nitidus</i>	<i>L. ni</i>			11	4	41	3	37	46	142
<i>Zacco platypus</i>	<i>Z. pl</i>	3	35	12	63	5	7	1	4	130
<i>Lepomis macrochirus</i>	<i>L. ma</i>	21	2	35	15	17	18	14	6	128
<i>Carassius auratus</i>	<i>C. au</i>	6	4	28	31	6	4	11	2	92
<i>Pseudogobio esocinus</i>	<i>P. es</i>	4	45		29	4		2	3	87
* <i>Squalidus japonicus coreanus</i>	<i>S. ja</i>	22		15		3		3		43
* <i>Acanthorbodeus gracilis</i>	<i>A. gr</i>	2	1	5	6	11	2	4	9	40
<i>Carassius cuvieri</i>	<i>C. cu</i>	2	3	7	8	7	4		3	34
<i>Pseudorasbora parva</i>	<i>P. pa</i>	7		3	1		8	25	6	25
<i>Cyprinus carpio</i>	<i>C. ca</i>		3	3	4	1	4	2	3	20
* <i>Rbodeus uyekii</i>	<i>R. uy</i>			11				2		13
* <i>Squalidus gracilis majimae</i>	<i>S. gr</i>	2				5		1	2	10
<i>Hemibarbus longirostris</i>	<i>H. lo</i>		3		6					9
<i>Acheilognathus rhombeus</i>	<i>A. rh</i>				6		1			7
<i>Culter brevicauda</i>	<i>C. br</i>							4	1	5
<i>Rhinogobius brunneus</i>	<i>R. br</i>		4							4
<i>Abbottina rivularis</i>	<i>A. ri</i>	1				1			1	3
<i>Mugil cephalus</i>	<i>M. ce</i>				1		2			3
* <i>Microphysogobio yaluensis</i>	<i>M. ya</i>		3							3
<i>Gnatbopogon strigatus</i>	<i>G. st</i>		2							2
* <i>Odontobutis platycephala</i>	<i>O. pl</i>							2		2
<i>Rbodeus notatus</i>	<i>R. no</i>						1	1		2
<i>Silurus asotus</i>	<i>S. as</i>			1					1	2
* <i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>	<i>S. va</i>							2		2
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	<i>A. la</i>				1					1
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	<i>P. fu</i>							1		1
* <i>Pseudobagrus koreanus</i>	<i>P. ko</i>				1					1
<i>Rhinogobius giurinus</i>	<i>R. gi</i>							1		1
* <i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i>	<i>S. ni</i>						1			1
Total Number of Species		16	17	18	19	18	19	22	20	36
Total Number of Individuals		594	343	732	580	397	441	699	1,081	4,867

SCW-U_s: Seungchon weir upstream, SCW-D_s: Seungchon weir downstream, JSW-U_s: Juksan weir upstream, JSW-D_s: Juksan weir downstream, Ab.: Abbreviation, *: Endemic Species.

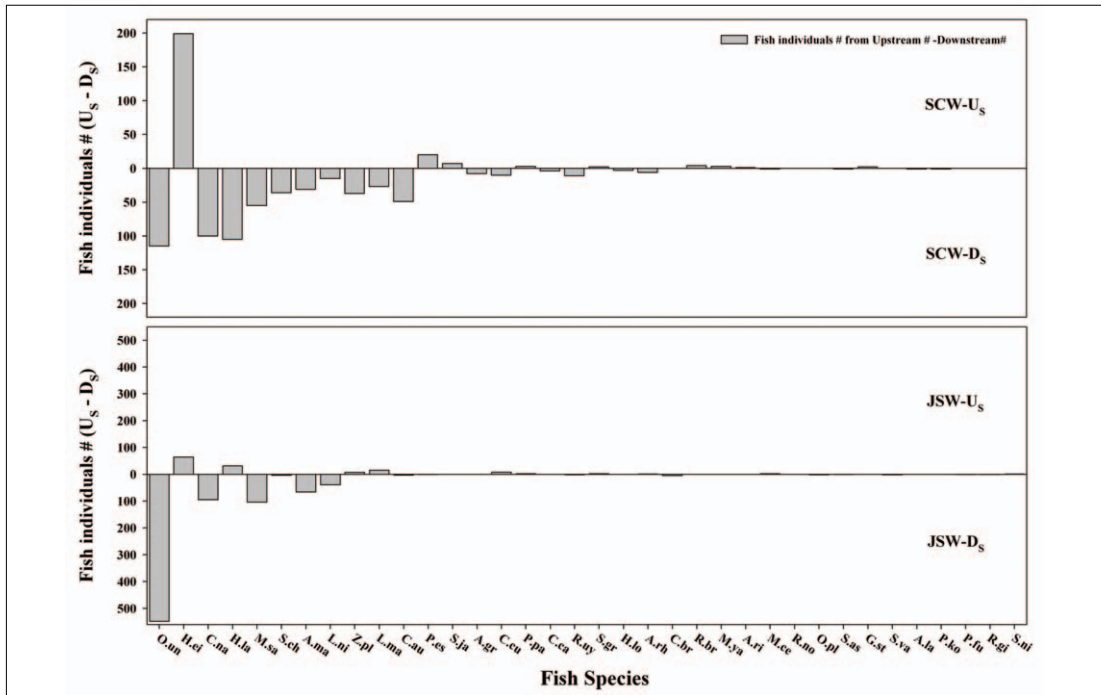


Fig. 6. Fish species abundance(upstream individuals - downstream individuals of each fish species) based on conventional sampling methods at up and downstream area from artificial weirs in the Yeongsan River Watershed.

않는 것으로 해석할 수 있다. 그러나 승촌보 구간에서는 죽산보와 달리 조사기간 동안 인공보 상류 구간의 빈번히 발생하는 수화현상(Water bloom)을 방지하고자 고정보 수문의 빈번한 개폐가 이와 같은 차이에 영향을 미친 것으로 사료되었다.

IV. 결론

본 연구는 2011년 영산강의 중·하류부에 건설되는 인공보(승촌보, 죽산보) 주변지역의 물리적 서식지교란 및 어류의 군집구조 특성을 분석하기 위하여 Echo-sounder(E_s)모니터링 기법을 국내 최초로 적용 평가 하였으며, 기존의 전통적인 어류평가 기법(Conventional sampling technique, C_s)과 비교·평가하였다. 영산강 수계에 건설된 2개의 인공보(승촌보, 죽산보) 주변은 기동보 건설 및 준설작업으로 인하여 심각한 서식지 교란이 발생되어 있으며, 음향학적 조사 기법(Echo-sounder monitoring technique, E_s)을 적용한 평가 결과, 어류군집의

상·하류간 분포특성에서 인공보를 중심으로 차이가 있었다. 상류구간에 비하여 하류구간의 어류 풍부도가 더 높은 것으로 분석되었다. 어류군집의 수직분포에 있어서도 저서성 어종의 풍부도는 미약한 반면, 주로 중층(3 ~ 4 m)에 서식하는 부유성 어류의 풍부도가 매우 높게 나타나 하상 서식지의 교란이 어류 군집 분포에 영향을 주는 것으로 분석되었다. 또한 전통적인 모니터링 기법(C_s)을 통해 채집된 어류 종조성에서도 상·하류 구간에서 차이를 보이는 것으로 나타났으며, 이중에서도 회귀성 어류인 잉어(*Coilia nasus*)가 승촌보 상류구간에서는 채집되지 않았으며, 하류구간에서 더 많은 개체수가 채집되어 인공보가 잉어의 이동을 제한하는 요인으로 분석되었다. 이 외에도 떡납줄갱이, 큰납지리, 꼬리, 치리, 밀자개 배스 등이 상·하류구간에서 개체 풍부도에 있어서 2배 이상 차이를 보이는 것으로 나타나, 인공보가 이들의 국지적 이동에 장애물 역할을 하는 것으로 판단되었다. 영산강 수계의 4개 구간의 서식지 평가 결과에서도, 물리적 서

Table 3. Independent samples t-test of fish sampling sites(upstream vs. downstream) based on echo-sounder monitoring(E_s) data between two weirs in the Yeongsan River.

Independent Samples Test	Levene's Test for Equality of Variances		T-test for Equality of Means						
	F-value	Sig.	t	df	Sig. (2-Tailed)	M of D	SE of D	95% CI of D	
								Lower	Upper
SCW*	2.197	0.149	-0.200	30	0.843	-8.188	40.880	-91.675	75.230
JSW*	4.033	.0540	-3.506	30	0.001	-737.6	210.4	-1167.3	-307.9

* Equal variances assumed, SCW: Seungchon weir, JSW: Juksan weir, M: Mean, SE: Standard error, CI: Confidence interval, D: Difference, Sig.: Significance level.

Table 4. Paired samples t-test of sampling sites(upstream vs. downstream) based on conventional fish sampling(C_s) data between two weirs in the Yeongsan River.

Paired Samples Statistics		M	N	SD	SE of M			
SCW	U_s	51.0882	34	99.0397	16.9852			
	D_s	66.9118	34	82.6535	14.1750			
JSW	U_s	42.9744	39	75.0623	12.0196			
	D_s	86.4872	39	196.3004	31.4332			
Paired Samples Correlations			N	Pearson's correlation coefficient				
SCW		U_s & D_s	34	0.745				
JSW		U_s & D_s	39	0.901				
Paired Sample Tests	Paired Differences					t	df	Sig. (2-Tailed)
	M	SD	SE of M	95% CI of the Difference				
				Lower	Upper			
SCW ($U_s - D_s$)	-15.824	66.636	11.428	-39.074	7.427	-1.385	33	0.175
JSW ($U_s - D_s$)	43.513	132.684	21.247	-86.524	-0.502	-0.248	38	0.048

SCW: Seungchon weir, JSW: Juksan weir, U_s : Upstream, D_s : Downstream, M: Mean, SD: Standard deviation, SE: Standard error, CI: Confidence interval, Sig.: Significance level.

식지 상태는 보 건설로 인한 인간의 인위적인 영향과 역 상관관계를 보이는 것으로 나타났으며, 상·하류 구간의 서식지의 질적 상태는 인공보를 기준으로 극명한 차이를 보이는 것으로 분석되었다. 어군 탐지기를 이용한 음향적으로 탐지된 어류군집 자료와 물리적 서식지 평가(QHEI) 간의 회귀분석에서도, 어류의 풍부도는 물리적 서식지 상태와 유의한 상관관계($r^2 = 0.503, p = 0.049$)를 보였으며, 시기별로 인공보 건설이 진행되고 있는 1차 조사시기(6월)에 심각한 물리적 서식지 교란을 발생되어 어류 풍부도가 낮은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 인공보 건설로 인하여 발생된 물리적 서식처 변화가 영산강 수계의 수중 생태계 시스템에서 주요한 스트레스 요인으로 작용하고 있으며, 종 풍부도 및 다양도를 감소시키고, 내성이 강한 종들의 우점에 따른

영양구조의 단순화를 초래한 것으로 판단된다. 결론적으로 인공보 건설은 물리적 서식지에 악영향을 주며, 인공보 건설로 인해 발생하는 서식지 교란은 어류의 종 다양성 및 종 풍부도를 감소시키고, 어류의 이동을 차단하는 등 여러 가지 문제점을 야기시키고 있기 때문에 어류 생태적 특성을 고려한 효율적인 인공보 수문조절 관리가 필요하며, 회유성 어류뿐만 아니라 해당 수계에 서식하는 전 어종을 대상으로 한 어도 설계가 반드시 필요한 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 영산강 수계관리위원회 국립환경과학

원 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

- 강돈혁, 임양재, 이창원, 유준택, 명정구, 2008, 제주도 서쪽 연안에서 음향자원 조사를 이용한 저층 어군의 시·공간 분포, 한국해양연구원, *Ocean and Polar Research*, 30(2), 181-191.
- 강돈혁, 조성호, 라형술, 김종만, 나정열, 명정구, 2006, 수중음향을 이용한 해초 서식처 (Seagrass Habitats)의 공간 및 수직 분포 추정, 한국해양연구원, *Ocean and Polar Research*, 28(3), 225-236.
- 고유봉, 신희섭, 1990, 제주도 남부 화순연안 수산 자원 유영생물의 종 구성과 다양도, 한국어류학회지, 2(1), 36-46.
- 김익수, 1997, 한국동식물도감 제37권 동물편(담수 어류), 교육부, 133-520.
- 김익수, 박종영, 2002, 한국의 민물고기, 교학사, 29-428.
- 김준택, 정동근, 노홍길, 1999, 제주도 한림 연안 정치망 어장의 환경특성과 어획량 변동에 관한 연구 III, 어획량변동과 환경요인, 한국수산과학회지, 32(1), 105-111.
- 안광국, 김자현, 2005, 물리적 서식지평가기법 및 어류 다변수 평가모델에 의거한 대전천의 생태학적 건강도 진단, 한국육수학회지, 38(3), 361-71.
- 오강호, 2007, 영산강 수계 퇴적환경과 지형체계, 한국지형학회지, 14(3), 91-102.
- 차병열, 장대수, 김병엽, 2004, 제주도 함덕 연안의 정치망 어획량 변동, 한국수산과학회지, 37(1), 65-72.
- Abad, R., J. Miquel, M. Iglesias, and F. Alvarez, 1998, Acoustic estimation of abundance and distribution of sardine in the northwestern Mediterranean, *Fisheries Research*, 34, 239-245.
- Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder and J.B. Stribling, 1999, Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, Second Edition, EPA 841-B-99-002, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C.
- Beauchamp, D.A., C. Luecke, W.A. Wurtsbaugh, H.G. Gross, P.E. Budy, S. Spaulding, R. Dillenger, and C.P. Gubala, 1997, Hydroacoustic assessment of abundance and diel distribution of sockeye salmon and kokanee in the Sawtooth Valley Lakes, Idaho, *North American Journal of Fisheries Management*, 17, 253-267.
- Beauchamp, D.A., M.G. LaRiviere, and G.L. Thomas, 1995, Evaluation of competition and predation as limits to juvenile kokanee and sockeye salmon production in Lake Ozette, Washington, *North American Journal of Fisheries Management* 15, 193-207.
- Brandt, S.B., 1996, Acoustic assessment of fish abundance and distribution, Pages 385-432 in B. R. Murphy and D. W. Willis, editors, *Fisheries techniques*, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Choi, J.W. and K.G. An, 2007, Fish composition and trophic guild analysis as a collection of basic data for ecosystem health assessments in Yeongsan Lake, *Korean Journal of Limnology*, 40, 546-552.

- Cryer, M., 1996, A hydroacoustic assessment of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) population in a deep oligotrophic lake, Pages 196-205 in I. G. Cowx, editor, Stock assessment in inland fisheries, Fishing News Books, London.
- Djemali, I., R. Toujani, and J. Guillard, 2009, Hydroacoustic fish biomass assessment in man-made lakes in Tunisia: horizontal beaming importance and diel, Aquatic Ecology, 43, 1121-1131.
- 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.
- Foote, K.G., 1987, Fish target strength for use in echointegrator surveys, Journal of the Acoustical Society of America, 82(3), 981-987.
- Hansson, S., and L.G. Rudstam, 1995, Gill-net catches as an estimate of fish abundance: a comparison between vertical gill-net catches and hydroacoustic abundances of Baltic Sea herring (*Clupea harengus*) and sprat (*Sprattus sprattus*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 52, 75-83.
- Hardiman, J.M., B.M. Johnson, and P.J. Martinez, 2004, Do predators influence the distribution of age-0 kokanee in a Colorado reservoir?, Transactions of the American Fisheries Society 133, 1366-1378.
- Harris, J.H., 1984, Impoundment of coastal drainages of south-eastern Australia, and a review of its relevance to fish migrations, Australian Journal of Zoology, 21, 35-250.
- Harvey, B.C., 1991, Interactions among stream fishes: predator induced habitat shifts and larval survival, Oecologia, 87, 29-39.
- Hewitt, R.P. and D.A. Demer, 1993, Dispersion and abundance of Antarctic Krill in the vicinity of Elephant Island in the 1992 austral summer, Marine Ecology Progress Series, 99, 29-39.
- Hrabik, T.R., O.P. Jensen, S.J. Mertell, C. Walters, and J. Kitchell, 2005, Diel vertical migration in the lake superior pelagic community, 1. Changes in vertical migration of coregonids in response to varying predation risk, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 63, 2286-2295.
- Jacobs, T.A., 1990, River Regulation, In The Murray (Ed.D. Eastburn), 38-58.
- Jurvelius, J., and I. Sammalkorpi, 1995, Hydroacoustic monitoring of the distribution, density and mass-removal of pelagic fish in a eutrophic lake, Hydrobiologia, 316, 33-41.
- Jurvelius, J., T. Lindem, and T. Heikkinen, 1988, The size of a vendace, *Coregonus albula* L., stock in a deep lake basin monitored by hydroacoustic methods, Journal of Fish Biology, 32, 679-687.
- Kahilainen, K., T. Malinen, A. Tuomaala, and H. Lehtonen, 2004, Diel and seasonal habitat and food segregation of three sympatric *Coregonus lavaretus* forms in a subarctic lake, Journal of Fish

- Biology, 64, 418-434.
- Karr, J.R., K.D. Fausch, P.L. Angermeier, P.R. Yant, and I.J. Schlosser, 1986, Assessing biological integrity of running waters: A method and its rationale, Special Publication 5, Champaign: Illinois Natural History Survey.
- Kubecka, J., 1994, Simple model of the relationship between fish acoustic target strengths and aspect for highfrequency sonar in shallow waters, Journal of Applied Ichthyology, 10, 75-81.
- Levy, D.A., B. Ransom, and J. Burczynski, 1991, Hydroacoustic estimation of sockeye salmon abundance and distribution in the Strait of Georgia, 1986, Pacific Salmon Commission, Technical Report 2, Vancouver.
- MacLennan, D.N. and E.J. Simmonds, 1992, Fisheries acoustics, Chapman & Hall, London, 325.
- 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.
- McKeown, B.A., 1984, Fish Migration(Timber Press: USA).
- Medwin, H. and C.S. Clay, 1998, Fundamentals of acoustical oceanography, Academic Press, San Diego, 712.
- Mehner, T., 2006, Prediction of hydroacoustic target strength of vendace(*Coregonus albula*) from concurrent trawl catches, Fisheries Research, 79, 162-169.
- Mehner, T., and M. Schulz, 2002, Monthly variability of hydroacoustic fish stock estimates in a deep lake and its correlation to gill-net catches, Journal of Fish Biology, 61, 1109-1121.
- Ohshimo, S., 2004, Spatial distribution and biomass of pelagic fish in the East China Sea in summer, based on acoustic surveys from 1997 to 2001, Fisheries Science, 389-400.
- Parkinson, E.A., B.E. Ransom, and L.G. Rudstam, 1994, Comparison of acoustic and trawl methods for estimating density and age composition of kokanee, Transactions of the American Fisheries Society, 123, 841-854.
- Petitgas, P. and J.J. Leveze, 1996, Spatial organization of pelagic fish: Echogram structure, spatio-temporal condition, and biomass in Senegalese waters, ICES Journal of Marine Science, 53, 147-153.
- Plafkin, J.L., M.T. Barbour, K.D. Porter, Gross, S.K. and R.M. Hughes, 1989, Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrate and fish, EPA/444/4-89-001, Office of water regulations and standards, U.S. EPA. Washington. DC, USA.
- Raven, P.J., N.T.H. Holmes, F.H. Dawson, P.J.A. Fox, M. Everard, I.R. Fozzard, and K.J. Rowen, 1998, River habitat quality: The physical character of rivers and streams in the UK and Isle of Man, Environment Agency, ISBN1-873760-42-9, Bristol, England.
- Reid, D., C. Scalabrin, P. Petitgas, J. Masse, R. Aukland, P. Carrera, and S. Georgakarakos, 2000, Standard protocols for the analysis of school based data from echo sounder surveys, Fisheries Research, 47, 125-136.

- Sabol, B.M., E. McCarthy, and K. Rocha, 1997, Hydroacoustic basis for detection and characterization of eelgrass(*Zostera marina*), 679-693. In: Proc. 4th Conference on remote sensing of marine environments, Florida, USA, March 17-19.
- Schmidt, M.B., H. Gassner, and E.I. Meyer, 2005, Distribution and biomass of an underfished vendace, *Coregonus albula*, population in a mesotrophic German reservoir, Fisheries Management and Ecology, 12, 169-75.
- Simmonds, E.J. and D.N. MacLennan, 2005, Fisheries acoustics, 2nd ed. Blackwell Science Ltd., Oxford, 437.
- Thorne, R.E., 1979, Hydroacoustic assessments of adult sockeye salmon(*Oncorhynchus nerka*) in Lake Washington, 1972-1975, Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 36, 1145-1149.
- Traynor, J.J., and J.E. Ehrenberg, 1979, Evaluation of the dual-beam acoustic fish target strength measurement method, Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 36, 1065-1071.
- US. EPA, 1993, Fish field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters, EPA 600-R-92-111, Environmental Monitoring systems Laboratory-Cincinnati office of Modeling, Monitoring systems, and quality assurance Office of Research Development, U.S. EPA, Cincinnati, Ohio 45268.
- Yule, D.L., 2000, Comparison of horizontal acoustic and purse seine estimates of salmonid densities and sizes in eleven Wyoming waters, North American Journal of Fisheries Management, 20, 759-775.