

댐 하류 하천에서 발전방류로 인한 어류 물리서식처 변화 수치모의

Numerical Investigations of Physical Habitat Changes for Fish induced by the Hydropeaking in the Downstream River of Dam

강형식* · 임동균** · 김규호***

Kang, Hyeongsik · Im, Dongkyun · Kim, Kyu-Ho

Abstract

This paper presents numerical investigations of the physical habitat changes induced by the hydropeaking in the downstream river of dam. For the two-dimensional ecohydraulic simulations, River2D model is used. Pirami (*Zacco platypus*) is selected as the target fish for investigating the impact of the hydropeaking. For validation of the model, the water surface elevations are simulated with two different water discharges. The computed results are compared with field data in the literature, and the result shows that the model successfully simulates the water flows. The weight usable area (WUA) of Pirami with the life cycle and the composite suitability index with different water discharges are computed and discussed. The results show that habitat for Pirami appears to be best in the bend region downstream of the dam. The discharge of the maximum WUA for adult Pirami is computed to be about 9 m³/s. Also, the WUA computed in a condition of hydropeaking during seven days are presented. The averaged discharge of the hydropeaking appears to be about 20% larger than the drought flow, but the WUA by the hydropeaking is computed to be 60-100% smaller. This result shows that the hydropeaking reduces quantity of habitat available to fish.

Keywords : physical habitat, hydropeaking, weight usable area, composite suitability, *Zacco platypus*

요 지

본 연구에서는 2차원 수치모형을 이용하여 댐 발전방류로 인한 어류 물리 서식처의 변화를 분석하였다. 이를 위해 River2D 모형을 이용하였으며, 대상 어종은 피라미를 선정하였다. 먼저 구축된 모형의 검증을 위하여 계산된 수위를 기존의 현장 측정 데이터와 비교하였으며 잘 일치함을 보였다. 한편, 피라미의 성장 단계별 가중가용면적 및 유량 별 복합서식처적합도 분포도를 계산하여 비교하였다. 그 결과, 댐 하류 만곡부 부근에서 피라미 서식처가 가장 좋은 것으로 나타났으며, 약 9 m³/s의 유량일 때 성어기 피라미의 가중가용면적이 최대의 값을 이루는 것으로 예측되었다. 또한 일주일 간의 발전 방류량 및 갈수량 조건에 대한 계산 결과, 일주일 평균 발전 방류량이 갈수량에 비해 약 39% 더 큰 것으로 나타났지만 계산된 가중가용면적은 약 60-100% 작은 것으로 예측되었다. 즉, 발전 방류로 인해 하류단 서식처의 면적이 크게 감소되는 것을 확인하였다.

핵심용어 : 물리 서식처, 발전방류, 가중가용면적, 복합서식처적합도, 피라미

1. 서 론

하천은 인간 및 동식물에게 필요한 용수 및 에너지를 공급해주고, 이동을 위한 통로의 수단으로 활용된다. 특히 하천은 살아있는 유기체와 같아 하천에 가해진 인위적인 물리적 활동에 의해 변화된 하천 형태는 다시 하천 모습을 변화시키는 원인이 된다. 예를 들어 하천 준설 및 보나 댐과 같은 수공 구조물의 설치는 하천 흐름 변화를 가져오고, 이는 또 다른 하천 단면 및 하상변화를 초래하게 된다. 특히, 보

나 댐과 같은 구조물의 설치는 하천 상, 하류간의 유량을 변화 시키고 생태학적 단절을 초래할 수 있어 생물 서식처에 악영향을 미칠 가능성이 크며, 이로 인해 새로운 생태계가 형성되고, 기존 우점종의 개체수가 감소되어, 변화된 환경에 적합한 새로운 어종이 우점종이 될 수 있다.

하천 수공 구조물 중 댐을 이용하여 얻을 수 있는 수력 발전은 최근 저탄소 배출의 중요성이 부각되는 시대에 청정 에너지 공급이라는 차원에서 긍정적인 측면이 있다. 그러나 댐 자체의 존재로 인한 하천 환경 변화 외에도 댐에서의 발

*정회원 · 한국환경정책·평가연구원 환경전략연구본부 물순환연구실 책임연구원 (E-mail : hskang@kei.re.kr)

**정회원 · 교신저자 · 한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부 하천·해안·항만연구실 연구원 (E-mail : himdk@kict.re.kr)

***정회원 · 한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부 하천·해안·항만연구실 책임연구원 (E-mail : khkim1@kict.re.kr)

전 방류(hydropеaking)는 어류 서식처의 변화를 초래한다 (Scruton 등, 2008; Moog 등, 1993; Valentin 등, 1996). 댐 발전 방류는 대상 하천에서 특정 어류가 사라지게 되는 직접적인 원인이 될 수 있으며(Hunter, 1992), 발전 방류로 인해 하류 하천의 하도는 마름과 젖음을 반복하게 되고 이는 하류 하천에 서식하고 있는 저서 생물이 햇빛에 노출되어 건조해져 죽게 되거나 다른 곳으로 이동 함으로서 어류에게 간접적인 피해를 준다(Cushman, 1985; Lauters 등, 1996; Cereghino와 Lavandier, 1998).

이상과 같이 댐 발전 방류에 의한 서식처 변화에 대하여 생태 및 생물학자에 의해 많은 연구가 수행되었다(Valentine 등, 1996; Lauters 등, 1996; Cereghino와 Lavandier, 1998; Saltveit 등, 2001; Looy 등, 2007). 이들의 연구는 주로 하천 현장 측정을 통하여 발전방류로 인한 저서무척추 동물의 서식처 변화(Lauters 등, 1996; Cereghino와 Lavandier, 1998) 및 연어 및 송어의 출현 빈도 변화(Saltveit 등, 2001) 등에 대한 것이다. 또한 Valentine 등 (1996)은 1차원 서식처 분석 모형을 이용하여 발전방류에 따른 송어의 가중가용면적(WUA: Weight Usable Area)의 변화를 분석하였다. 지금까지의 연구에서는 주로 현장 측정을 통한 연구가 대부분이고, 2차원 수치모형을 이용한 연구는 극히 드물다. 특히, 국내에서는 서식처 적합도 분석에 대한 연구가 많이 수행되지 않은 것으로 나타났다.

본 연구의 목적은 댐 발전방류가 하류 하천에서의 어류 서식처에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 이를 위하여 2차원 수치모형인 River2D 모형을 이용하여 일주일 간의 발전 방류량을 경계조건으로 하여 수치모의 하였다. 먼저 대상 하천에서의 수리량을 계산하여 기존의 현장 측정 결과와 비교하였으며, 성장단계별 피라미의 가중가용면적 및 복합서식처를 계산하여 발전방류로 인한 적합 서식처의 크기 변화에

대해 살펴보았다.

2. 대상하천

본 연구에서 사용된 대상하천은 남한강 제1지류인 달천 구간이며, 그림 1(a)와 같이 괴산댐 하류 구간이다. 달천은 한강 유역 중류에 위치하며, 유역면적은 1,625.4 km², 유로연장 119.3 km이고, 대체적인 하폭은 90 m-340 m, 하상재료는 호박돌과 굵고 작은 자갈 및 모래로 구성되어 있으며, 하천의 평균경사는 1/750이다(건설교통부, 1996). 그림 1에서 항공사진을 보면, 괴산댐 상류에 칠성저수지가 있으며, 괴산댐 하류방향으로 수전교를 지나면서 거의 직선에 가까운 하도를 형성하다가 만곡부를 형성하며, 다시 대수보까지는 직선 구간이고, 대수보 하류에서 쌍천과 합류하면서 다시 곡선의 하도를 형성한다. 또한 만곡부 직상류에 돌보가 존재하고, 만곡부에서는 사주가 형성되어 있다. 한편, 본 연구에서 사용된 달천 유역의 계산 구간은 비교적 자연하도를 유지하고 있으며, 수전교에서 대수보까지 약 4 km 구간이다. 그림 1(b)는 하상고 분포도를 보여준다. 그림 1(b)를 보면, 곡선부 및 곡선부 직상류부에서 여울이 형성되고, 그 하류 구간에서는 웅덩이가 형성된 것을 볼 수 있다. 또한, 웅덩이 구간을 지나 하류 경계부 근처에서 다시 하상고가 상승되는 것을 확인할 수 있다. 한편, 대상구간에서의 갈수량은 1.82 m³/s이고, 계획홍수량은 1,750 m³/s 이다(건설교통부, 1995). 이러한 달천 유역은 최근 유량, 생태 등 많은 조사 활동이 이루어지고 있는 구간이다. 특히, 과학기술부(2007)는 유량 측정과 관련된 기술을 확보하기 위한 연구로서 괴산댐 하류에서 다양한 유량측정 방법을 적용하여 각 방법의 적합성을 검증하였으며, 김지성 등(2007)은 자갈하천에서 실측한 자료를 이용하여 유량 변화에 따른 조도계수의 변화를 분석하고 기

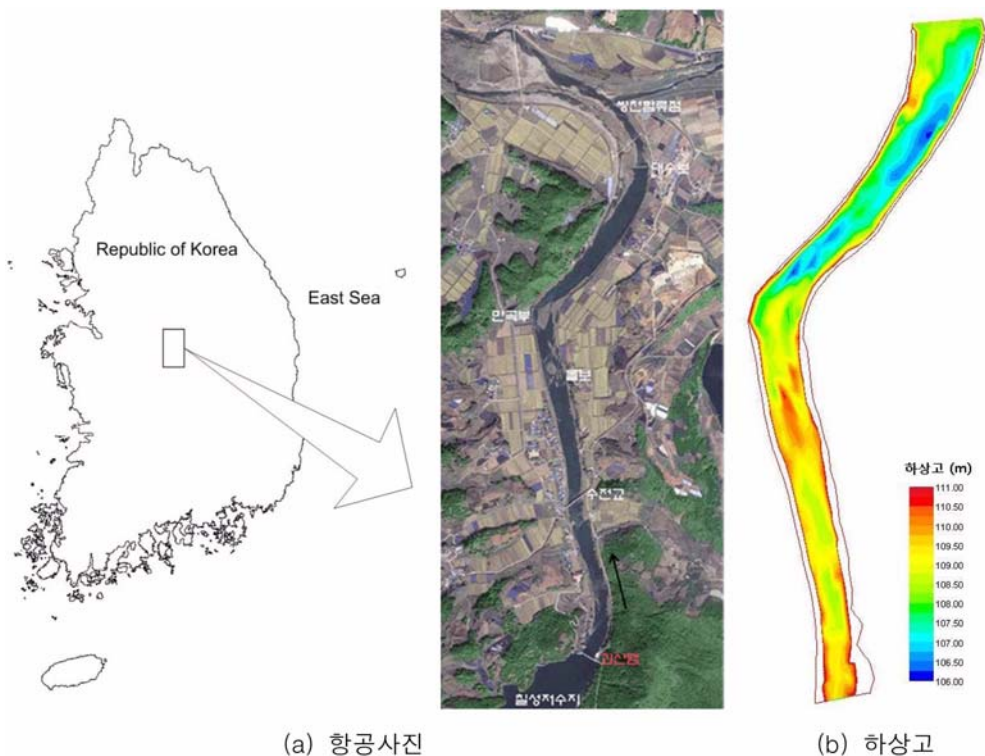


그림 1. 대상하천 항공사진 및 하상고 분포도

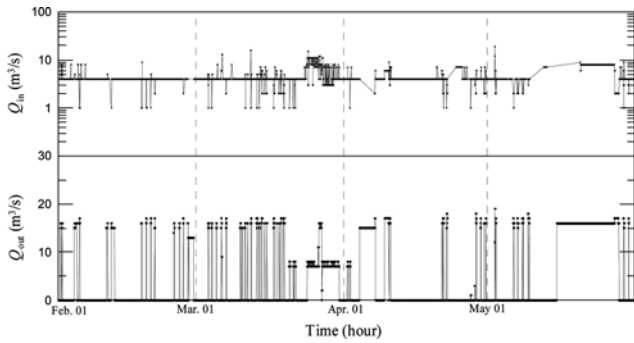


그림 2. 댐 유입유량 및 발전유량

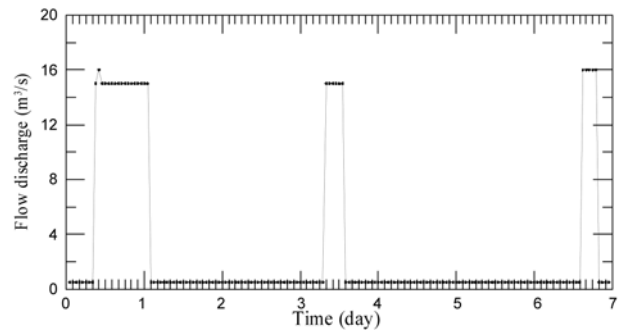


그림 3. 상류 발전방류량 경계조건

존 조도계수 경험식의 적용성을 검토하였다. 또한 국토해양부(2009)는 달천유역에서 어류조사를 시행하고 있다.

괴산댐은 1957년에 준공되었으며, 유역면적은 약 675.2 km²이다. 괴산댐에서의 방류량은 2008년도의 경우, 홍수기인 7월 25일에 최대 약 1,160 m³/s 정도의 댐 방류가 행해졌고, 평상시에는 약 5 m³/s-20 m³/s의 발전 방류를 하는 것으로 나타났다(www.wamis.go.kr). 그림 2는 2008년도 2월과 5월 사이 괴산댐에서 시간단위별 유입량과 방류량 분포도이다. 그림 2를 보면, 댐으로의 상류 유입량은 약 1 m³/s-10 m³/s 정도이며, 주로 약 4 m³/s 정도의 유량이 가장 많은 것을 볼 수 있다. 한편, 발전 방류량 분포도를 보면 약 7 m³/s-18 m³/s 정도이다. 그러나 그림 2(a)의 댐 유입유량을 살펴보면 제시된 유량 값이 시간에 따라 비정상적으로 급격히 변화하는 것으로 나타나 유입량에 대한 신뢰성에 문제가 있는 것을 볼 수 있다.

3. 2차원 수치모형

대상구간의 2차원 흐름 해석 및 서식처 적합도 분석을 위하여 Steffler와 Blackburn(2002)이 개발한 River2D 모형을 이용하였다. River2D 모형은 Petrov-Galerkin 유한요소법을 이용하며, 본 모형을 위한 지배방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial Uq_x}{\partial x} + \frac{\partial Vq_x}{\partial y} + \frac{1}{2}g \frac{\partial H^2}{\partial x} = gH(S_{0x} - S_{fx}) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial H\tau_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial H\tau_{xy}}{\partial y} \quad (2)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial Uq_y}{\partial x} + \frac{\partial Vq_y}{\partial y} + \frac{1}{2}g \frac{\partial H^2}{\partial y} = gH(S_{0y} - S_{fy}) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial H\tau_{yx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial H\tau_{yy}}{\partial y} \quad (3)$$

여기서 x 와 y 는 각각 주흐름방향 및 횡방향, U 와 V 는 x -와 y -방향으로의 적분 유속, H 는 수심, $q_x(=UH)$ 와 $q_y(=VH)$ 는 단위유량, g 는 중력가속도, S_{0i} 와 S_{fi} 는 각각 i -방향으로의 바닥 경사 및 마찰경사, τ_{ij} 는 전단응력을 나타낸다.

River2D 모형을 통해 계산되는 어류의 서식처 적합도는 물리서식처해석시스템(PHABSIM: Physical habitat simulation system)에서 사용되는 가중가용면적(WUA: weighted usable area)에 근거하여 산출된다. 물리서식처해석시스템은 하천에서의 어류 서식처를 평가할 수 있는 방법으로서, 생태 서식처 분포 및 평가, 생태유량 산정 등을 위해 널리 사용되고 있다(Moir 등, 2005). River2D 모형에서 사용되는 가중가용면적은 주어진 유량에 대한 수심 및 유속을 계산하고, 각 수심 및 유속에 대한 서식처 적합도 지수(HSI: Habitat

suitability index)로부터 각 격자내에서의 적합도 지수의 값과 격자 면적을 곱하여 산정된다. 본 연구에서 사용된 서식처 적합도 지수는 다음 장에 소개되어 있다.

3.1 경계조건

댐으로 인한 댐 하류 하천에서의 어류 서식처 적합도의 변화를 모의하기 위하여 댐 발전방류량을 상류단 경계조건으로 사용하였다. 이를 위한 상류단 경계 유량은 그림 3과 같다. 그림 3의 유량은 그림 2의 유량 조건에서 2월 12일-18일 간 일주일 동안의 시간 단위의 유량값이다. 그림 3을 보면, 일주일 동안의 발전 방류는 총 3회 시행되었고, 방류량은 약 14 m³/s-16 m³/s이다. 그림 2에 나타난 바와 같이 댐 발전유량은 필요 발전량에 따라 시간 단위로 무작위 방류하기 때문에 1년 전체를 모의하는 것이 가장 정확하겠으나, 계산 시간의 문제로 인해 일주일 동안의 모의를 수행하였다. 하류단 경계조건은 모형 보정을 통해 $Q=1.7h^{1.667}$ 을 이용하였다.

댐 하류 하천에서의 하상고 역시 댐 건설로 인해 변화가 발생하므로, 정확한 모의를 위해서는 댐 건설 전의 하상고와 댐 건설 후의 하상고를 이용하는 것이 타당하다. 그러나 댐 건설 전의 하상고를 얻는 것은 불가능한 상태이므로, 동일한 하상고를 이용하여 상류단에서의 유량 변화에 따라 수치모의를 수행하였다. 한편, 대상하천에서의 하상재료 분포는 김지성 등(2007)의 실측 결과에 따라 중앙입경 102.33 mm-165.96 mm를 이용하였다.

3.2 서식처 적합도 지수

일반적으로 어류 서식처 모의를 위한 대상 어종은 우점종 및 환경 변화에 취약한 보호어종을 중심으로 선정된다. 또한 해당 하천에 따라 우점종, 멸종위기 및 보호 어종, 낚시 어종 또는 상업성 어종 등을 대상으로 선정된다(Bovee, 1982). 본 연구에서는 우점종을 대상 어종으로 하였다. 그림 4는 국토해양부(2009)에서 조사한 달천 유역에서의 어류 출현율을 보여준다. 그림 4를 보면 피라미가 가장 많이 출현하였으며, 그 뒤를 이어 갈겨니 및 쉬리가 많이 출현된 것으로 나타났다. 따라서 피라미를 대상어종으로 선정하여 서식처 적합도 분석을 수행하였다. 본 연구에서 피라미를 대상어종으로 선정한 또 다른 이유는 그림 5와 같이 기존에 제시된 피라미에 대한 서식처 적합도 지수가 존재한다는 것이다. 일반적으로 특정 어종에 대해 신뢰성 있는 서식처 적합도 지수를 완성하기 위해서는 수년에서 수십년에 걸친 지속

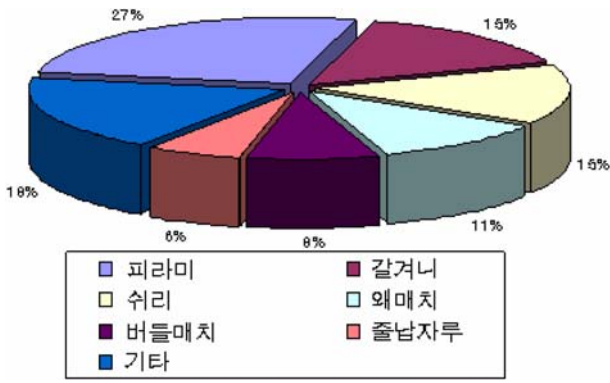


그림 4. 관측된 어종 분포도

적인 모니터링이 필요하다. 그러나 국내의 경우 김규호 (1999)가 처음으로 남한강 달천 유역에서 피라미 등 6개 어종에 대한 서식처 적합도를 제시하였다. 그러나 현장 모니터링 자료의 부족으로 대부분 전문가의 판단에 의존하여 산정되었다. 그 뒤 성영두 등(2005)이 낙동강 유역의 하천에서 2004년도 6월과 10월 현장 모니터링을 통해 피라미와 참갈겨니에 대한 서식처 적합도 지수를 산정하였으며, 이주현 등 (2006)은 한강수계 지천에서의 모니터링을 통해 피라미에 대한 서식처 적합도 지수를 산정하였다. 따라서 향후 좀 더 정확한 서식처 분석을 위해서는 지속적인 어류 모니터링이 반드시 선행되어야 할 것이다. 또한 기존에 제시된 서식처 적합도 지수의 차이에서 오는 민감도 연구 역시 향후 필요할 것으로 보인다. 본 연구에서는 그림 5와 같이 김규호 (1999)가 제시한 서식처 적합도 지수를 이용하여 피라미에 대한 물리서식처 평가를 수행하였다. 피라미를 계절별로 성어기(adult) 및 산란기(spawning)로 구분하였고, 성장 단계별로 성어기와 성장기(juvenile)로 구분하였다.

4. 수리해석 결과

수치모의 결과의 검증은 위하여 현장 측정 결과와의 비교를 수행하였다. 현장 측정 자료는 김지성 등(2007)의 자료를 이용하였다. 김지성 등(2007)은 괴산댐 하류인 달천에 7개 지점에서 37 m³/s-1,183 m³/s의 유량 범위에 대한 수위를 측정하였다. 본 연구에서 서식처 적합도 분석을 위해 사용된 상류단 유량은 앞의 그림 3과 같이 약 15 m³/s 미만의 상대적으로 작은 유량이므로, 이에 대한 현장 측정 데이터와의 비교가 필요할 것이다. 그러나 이러한 작은 유량에 대해 현

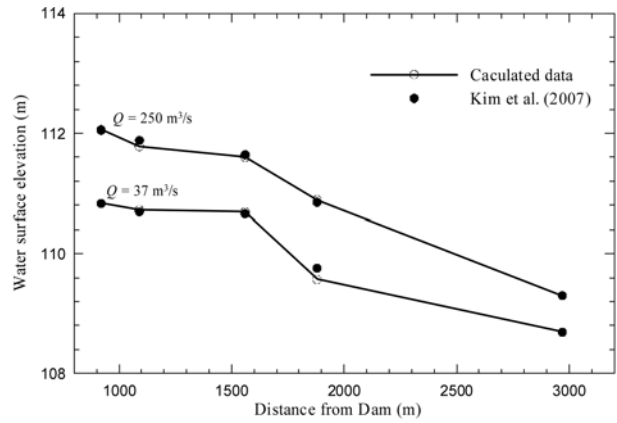


그림 6. 수위 계산결과 및 현장 실측 데이터 비교

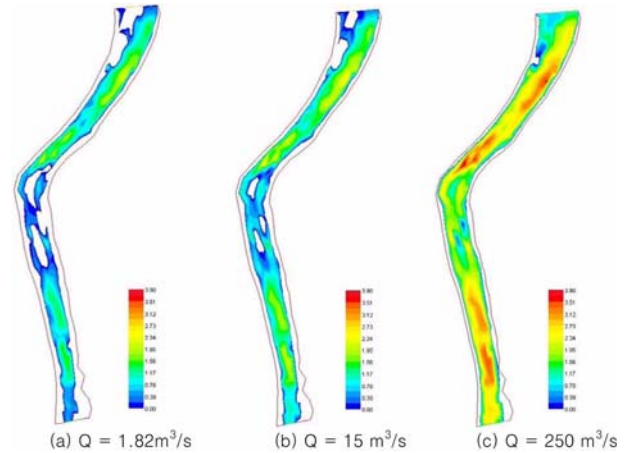
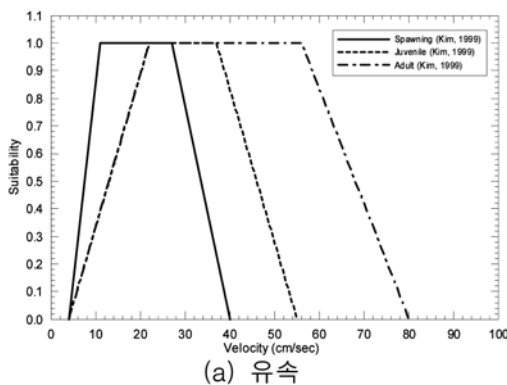
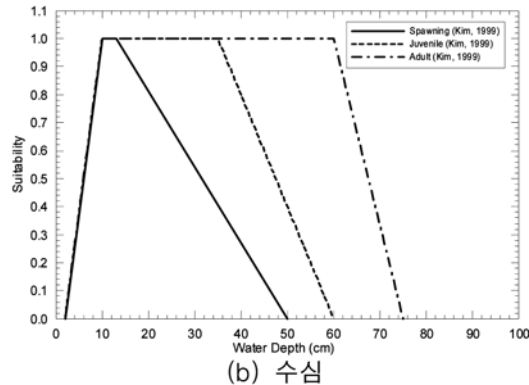


그림 7. 유량 별 수심 분포도 변화 (단위: m)

제까지 알려진 수리 데이터가 존재하지 않는다. 따라서 수치모형의 검증은 위해 이용 가능한 가장 작은 유량인 37 m³/s와 상대적으로 큰 유량인 250 m³/s에 대하여 현장 측정 결과와 수치모의 결과를 비교하였다. 그림 6은 계산된 수위와 현장 측정 결과의 비교를 보여준다. 그림 6에서 37 m³/s 유량에 대한 비교 결과를 보면, 상류에서부터 수위가 거의 일정하게 유지되다가 괴산댐 하류 약 1.55 km 부근인 만곡부 부근에서 수위가 급격히 감소되고 다시 하류단 방향으로 서서히 감소되는 것을 볼 수 있다. 또한 250 m³/s 유량에 대해서는 괴산댐 하류 약 1.55 km 부터 수위가 거의 일정하게 감소되는 것으로 나타났다. 특히, 두 유량에 대한 계산결과와 수치모의 결과가 매우 잘 일치하며, 구축된 수치모형이 타당함을 확인할 수 있다.



(a) 유속



(b) 수심

그림 5. 피라미에 대한 서식처 적합도 지수 (김규호, 1999)

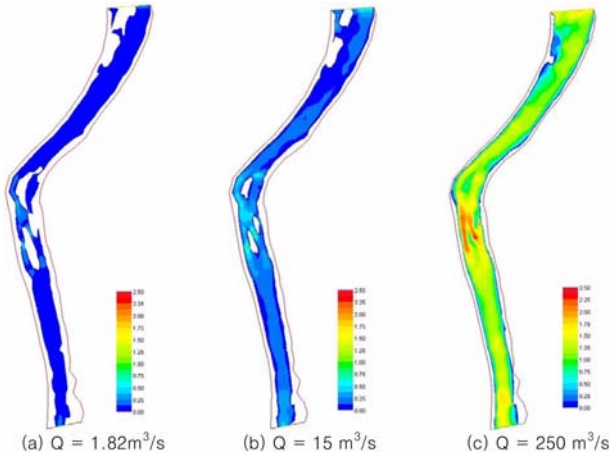


그림 8. 유량 별 유속 분포도 변화 (단위: m/s)

그림 7과 그림 8은 유량 별 수심 및 유속 분포도 변화를 보여준다. 먼저 그림 7의 수심 변화를 살펴보면, 만곡부를 중심으로 상류측에서 상대적으로 수심이 깊은 웅덩이 구간이 형성되고, 만곡부에서 여울이 발생되며 그 하류 구간에서는 다시 웅덩이 구간이 형성되는 것을 볼 수 있다. 또한 1.82 m³/s 유량의 경우 만곡부 부근에서 사주가 형성되었다가 유량이 증가함에 따라 사주가 점차 잠겨 보이지 않게 되며, 계산 구간의 하류단에서도 작은 유량에서는 사주 구간이 형성됨을 볼 수 있다. 특히 앞의 그림 1에서 항공사진과 비교해 보았을 때 본 모형이 마름/젓음 구간을 비교적 잘 모의하고 있음을 볼 수 있다. 또한 앞의 그림 5에서 성어기 피라미의 경우 최적의 수심 구간은 약 0.1 m-0.6 m이다. 따라서 만곡부 주변 및 상, 하류단 영역을 제외하고는 성어기 피라미가 서식하기에 부적합한 구간이 대부분임을 알 수 있다. 그림 8은 유량 별 유속 분포도이다. 그림 8을 살펴보면, 예상된 바와 같이 여울 구간에서 상대적으로 유속이 빠르게 형성되고 있음을 볼 수 있다. 또한 앞의 그림 5로부터 성어기 피라미에 대한 최적의 유속이 약 0.1 m/s-0.56 m/s이며, 1.82 m³/s와 15 m³/s 유량의 경우, 여울 구간에서 성어기 피라미의 서식처에 적합한 유속 구간이 형성됨을 확인할 수 있다. 또한 250 m³/s의 경우에는 측벽 부근을 제외하고는 서식에 적합한 유속이 형성되지 않음을 알 수 있다.

5. 서식처 적합도 분석

그림 9는 유량 별 예측된 가중가용면적의 변화를 보여준다. 임의의 하천에서 가중가용면적이 크다는 것은 그만큼 대상 어종의 서식처 및 활동 영역이 크다는 것을 의미한다. 그림 9를 살펴보면 성어기의 피라미가 치어기 및 산란기의 피라미 보다 더 많은 가중가용면적을 확보하고 있음을 알 수 있다. 이는 당연한 결과로서 앞의 그림 5에 나타난 바와 같이 성어기 피라미에 적합한 수심 및 유속 범위가 다른 단계의 피라미 보다 더 크기 때문이다. 한편, 산란기 피라미의 경우는, 성장기 피라미 보다 더 작은 가중가용면적을 갖는 것을 볼 수 있으며, 이는 피라미가 산란기에 적합한 서식처의 수심 및 유속 범위가 상대적으로 작기 때문이다. 또한, 성어기 피라미에 대한 최대 가중가용면적에 해당하는 유량

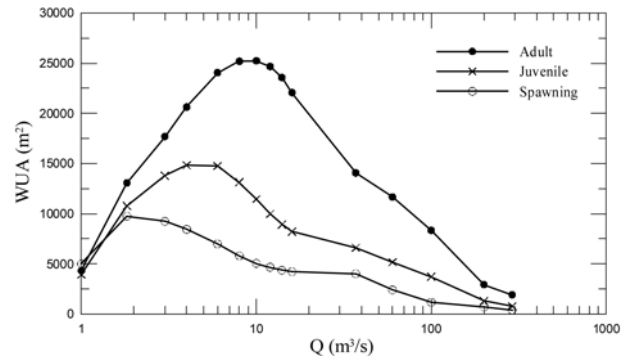


그림 9. 피라미의 성장단계별 유량에 대한 가중가용면적 변화

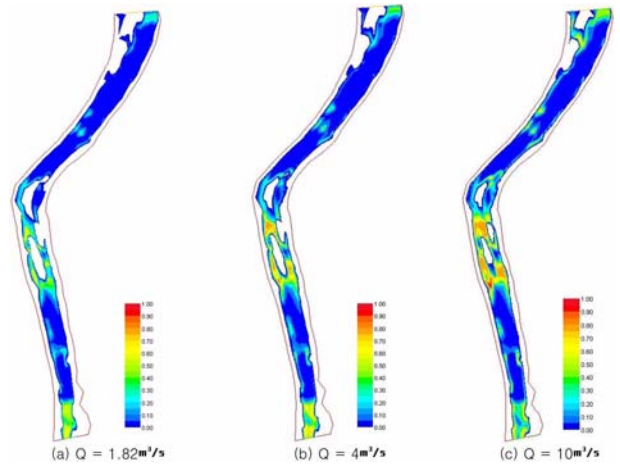


그림 10. 유량별 복합서식처적합도 비교

은 약 9 m³/s이고, 성장기 및 산란기에 대해서는 약 4 m³/s와 2 m³/s인 것으로 나타났다. 이와 같이 최대 가중가용면적에 해당하는 유량은 피라미 입장에서 볼 때 최적의 유량 조건이라 할 수 있다. 그러나 이는 특정 단일 어종에 대해 국한되어 산정된 것이기 때문에 임의의 하천에서 최적의 생태유량을 산정하기 위해서는 복합 어종에 대한 물리, 생물, 화학적 서식처 분석이 필요할 것이다.

그림 10은 성어기 피라미에 대한 유량 별 복합서식처적합도(CSI: Composite Suitability Index) 분포도를 보여준다. 그림에서 복합서식처적합도가 1.0이라는 것은 그 지점이 성어기 피라미에게 가장 적합한 수심 및 유속을 갖는다는 것을 의미한다. 먼저, 갈수량인 1.82 m³/s의 유량 조건에 대한 복합서식처적합도를 살펴보면, 상류단 유입부 및 만곡부를 제외하고 거의 영에 가까운 서식처 적합도를 갖으며, 만곡부 영역에서도 약 0.3 미만의 작은 적합도를 갖는 것을 확인할 수 있다. 한편, 유량이 증가함에 따라 전반적으로 서식처 적합도가 점차 좋아지는 것을 볼 수 있으며, 예상된 바와 같이 10 m³/s의 유량 조건에서 서식처 적합도가 가장 좋게 형성되는 것을 확인할 수 있다.

그림 11은 댐 발전방류량 조건에 대한 일주일 간의 시간별 가중가용면적의 변화를 보여준다. 그림을 살펴보면, 댐 방류시에 유량이 급격히 증가하므로, 방류 시 가중가용면적 역시 급격히 증가하였다가 약 10시간에 걸쳐 가중가용면적이 감소하여 일정해 지는 것을 볼 수 있다. 또한 발전방류 시에는 성어기 피라미의 가중가용면적이 가장 크고 산란기에 대해서는 가장 작지만, 발전방류가 없는 평상시에는 산란기

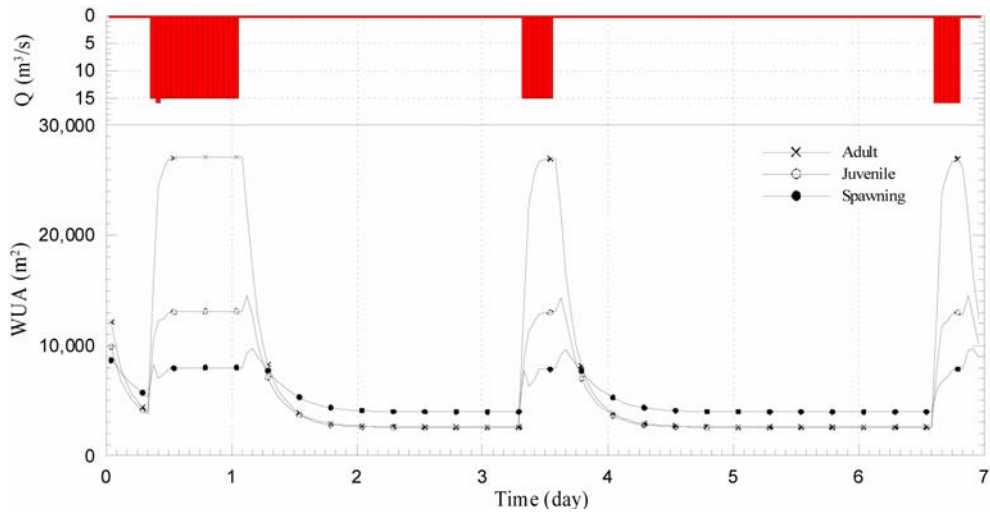


그림 11. 발전방류에 따른 가중가용면적 변화

피라미의 가중가용면적이 성어기 및 성장기 보다 더 큰 것을 볼 수 있다. 이는 평상시 대상 하천의 수심 및 유속이 매우 작게 되며, 산란기 피라미에 적합한 유속 및 수심이 성장기 및 성어기 보다 더 작기 때문인 것으로 보인다. 그러나 이 기간 동안의 가중가용면적은 약 2,300 m²-4,000 m²으로서 상대적으로 작은 면적을 차지하고 있다. 한편, 일주일간의 발전방류량의 평균값은 약 2.97 m³/s로서 대상하천의 갈수량 1.82 m³/s 보다 약 39% 더 크다. 또한 발전방류량에 대한 일주일 평균 가중가용면적은 성어기, 성장기, 산란기 각각의 경우에 약 8,212 m², 5,413 m², 5,407 m²인 것으로 계산되었다. 한편, 그림 9에서 갈수량 1.82 m³/s 경우에는 각각의 가중가용면적이 약 13,056 m², 10,788 m², 9,744 m² 인 것으로 나타나, 댐 발전방류에 의한 가중가용면적은 갈수량에 의한 것 보다 약 60-100% 정도 더 작은 것으로 확인되었다. 즉, 댐 발전방류에 대한 일주일간 평균유량은 대상하천에서의 갈수량 보다 더 크에도 불구하고, 계산된 피라미의 가중가용면적은 더 작은 것으로 산정되어 댐 발전방류가 하류 하천에서의 어류 서식처의 양을 크게 감소시키고 있음을 확인할 수 있다. 한편, 댐 발전방류에 의한 성어기 피라미의 일주일 평균 가중가용면적인 8,212 m²을 그림 9에서 선형적으로 비교해 보면 약 1.37 m³/s의 유량이 계산된다. 즉, 댐에서 일주일간 평균적으로 약 2.97 m³/s의 유량을 방류하였지만, 성어기 피라미를 기준으로 계산된 일주일 평균 가중가용면적은 일주일 동안 약 1.37 m³/s의 유량이 흐른 것과 동일하다. 따라서 두 유량의 차이만큼을 비발전기간 동안에 사용할 수 있다면 현 상태의 발전방류로 인한 하류 하천의 생태 서식처에 미치는 악영향을 최소화시킬 수 있을 것으로 보인다.

6. 결 론

본 연구에서는 수치모의를 이용하여 댐 발전방류에 의한 어류의 물리적 서식처 변화를 분석하였다. 이를 위하여 River2D 모형을 이용하였고, 피라미를 대상어종으로 선정하여 기존에 제시된 피라미의 서식처 적합도 지수를 적용하였다.

1. 구축된 2차원 모형을 이용하여 유량 별 수위를 계산하고

기존의 현장 측정 데이터와 비교한 결과 본 모형이 대상 구간의 흐름을 잘 예측할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 이는 37 m³/s 이상의 유량과 비교한 것이므로, 향후 좀 더 작은 유량과의 비교가 필요할 것으로 보인다.

2. 유량별 가중가용면적을 계산한 결과, 성어기 피라미에게 가장 적합한 유량은 약 9 m³/s이고, 성장기 및 산란기 피라미는 각각 4 m³/s와 2 m³/s인 것으로 나타났다. 또한 댐 하류 만곡부 구간에서 서식처 적합도 지수가 가장 높은 것으로 확인되었다.
3. 시간별 자연유량 및 발전방류량에 의한 가중가용면적을 계산한 결과, 발전방류 시 가중가용면적이 급격히 증가되었다가 다시 감소하여 일정해 지는 것으로 나타났다. 또한 일주일 평균 발전방류량이 갈수량 보다 더 크지만, 계산된 가중가용면적은 약 60-100% 정도 더 작은 것으로 나타났다. 따라서 댐 발전방류가 피라미 서식처 면적을 크게 감소시키고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 이러한 댐 발전방류로 인해 발생하는 생태 환경의 문제는 댐 발전방류량의 조정을 통해 댐 하류 하천의 어류 서식처 환경을 향상시키거나 댐 하류에 조정지대를 건설하여 최적의 유량을 지속적으로 방류 및 조절하는 것이 대안이 될 수 있을 것으로 보인다.
4. 본 연구는 향후 다양한 발전방류 조건에 대한 수치모의를 통하여 댐 하류 하천의 생물 서식 환경을 향상시킬 수 있는 방류 조건을 제시할 수 있을 것으로 보인다. 이를 위해서는 보다 정확한 예측을 수행할 필요가 있으며, 이에 가장 큰 영향을 미치는 것이 서식처 적합도 지수이다. 따라서 향후 보다 정확한 서식처 분석을 수행하기 위해서는 지속적인 모니터링을 통하여 각 어종 별 서식처 적합도 지수를 보완하는 연구가 필요할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업(06건설핵심 B01)의 '자연과 함께하는 하천복원기술 개발(Ecoriver 21)'의 연구 지원에 의해 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 건설교통부(1995) 달천 하천정비기본계획보고서(준용하천), 건설교통부.
- 건설교통부(1996) 달천 하천정비기본계획보고서(보완), 건설교통부.
- 국토해양부(2009) 생물 서식환경 조성기술 개발 연구보고서, 국토해양부.
- 과학기술부(2007) 21세기 프론티어연구개발사업 수자원의 지속적 확보기술개발 사업, 지표수 조사 시스템 적용.
- 김규호(1999) 하천 어류 서식 환경의 평가와 최적유량 산정. 박사학위논문, 연세대학교.
- 김지성, 이찬주, 김 원(2007) 실측 수위에 의한 자갈하천의 조도 계수 산정, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제40권 제10호, pp. 755-768.
- 성영두, 박봉진, 주기재, 정관수(2005) 하천의 어류 서식환경을 고려한 생태학적 추천유량 산정, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제38권 제7호, pp. 545-554.
- 이주현, 정상만, 이명호, 이용수(2006) 유지유량 증분 방법론(IFIM)에 의한 한강수계 주요 지류에서의 어류서식 필요유량 산정, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제26권 제2B호, pp. 153-160.
- Bovee, K.D. (1982) A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. Instream Flow Information Paper No. 12, U.S. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services, FWS/OBS-82/26, Fort Collins, Colorado.
- Cereghino, R. and Lavandier P. (1998) Influence of hydropeaking on the distribution and larval development of the plecoptera from a mountain stream. Regulated Rivers: Research and Management, Vol. 14, pp. 297-309.
- Cushman R.M. (1985) Review of ecological effects of rapidly varying flows downstream from hydroelectric facilities. North American Journal of Fisheries Management, Vol. 5, pp. 330-339.
- Lauters, F., Lavandier, P., Lim, P., Sabaton, C., and Belaud, A. (1996) Influence of hydropeaking on invertebrates and their relationship with fish feeding habitats in a Pyrenean river. Regulated Rivers: Research and Management, Vol. 12, pp. 563-573.
- Moir, H.J., Gibbins, C.N. Soulsby, C., and Youngson, A.F. (2005) Phabim modeling of atlantic salmon spawning habitat in an upland stream: testing the influence of habitat suitability indices on model output. River Research and Applications, Vol. 21, pp. 1021-1034.
- Moog, O. (1993) Quantification of daily peak hydropower effects on aquatic fauna and management to minimize environmental impacts. Regulated Rivers: Research and Management, Vol. 8, pp. 5-14.
- Saltveit, S.J., Halleraker, J.H., Arnekleiv, J.V., and Harby, A. (2001) Field experiments on stranding in juvenile atlantic salmon and brown trout during rapid flow decreases caused by hydropeaking. Regulated Rivers: Research and Management, Vol. 17, pp. 609-652.
- Scruton, D.A., Pennell, C., Ollerhead, L.M.N., Alfredsen, K., Stickler, M., Harby, A., Robertson, M., Clarke, K.D., and LeDrew, L.J. (2008) A synopsis of hydropeaking studies on the response of juvenile atlantic salmon to experimental flow alteration. Hydrobiologia, Vol. 609, pp. 263-275.
- Steffler, P. and Blackburn, J. (2002) River2D, Two-dimensional depth averaged model of river hydrodynamics and fish habitat, Introduction to depth averaged modeling and user's manual, University of Alberta.
- Valentin, S., Lauters, F., Sabaton, C., Breil, P., and Souchon, Y. (1996) Modeling temporal variations of physical habitat for brown trout (*salmo trutta*) in hydropeaking conditions. Regulated Rivers: Research and Management, Vol. 12, pp. 317-330.
- Looy, K.V., Jochems, H., Vanacker, S., and Lommelen, E. (2007) Hydropeaking impact on a riparian ground beetle community. River Research and Applications, Vol. 23, pp. 223-233.

(접수일: 2009.12.1/심사일: 2010.1.3/심사완료일: 2010.1.22)