

댐 발전방류에 따른 피라미의 물리서식처 변화 Numerical Simulation of Physical Habitat Changes for *Zacco platypus* by Hydropeaking

임동균*, 강형식**, 정상화***, 김규호****

Dongkyun Im, Hyeongsik Kang, Kyu-Ho Kim, Sanghwa Jung

요 지

댐과 저수지는 수자원의 이용, 발전, 홍수제어, 그리고 다양한 산업활동을 지원하기 위하여 건설되었다. 그러나 대부분의 댐의 운용에 있어 하류 하천에서 생활하는 생물에 대한 영향은 거의 고려되지 않고 있다. 특히 댐 발전방류와 같이 급격한 유량의 증대와 감소는 하류 하천에서 생활하는 생물의 서식처에 직접적인 영향을 미치고 있으며, 이러한 영향은 생물이 활용할 수 있는 서식처의 제한 요소로 작용한다. 본 연구에서는 2차원 수리모형을 활용하여 댐 방류에 따른 피라미의 물리서식처 변화 양상을 모의 하였다. 대상구간은 발전 방류가 빈번히 발생하는 달천의 피산댐 하류하천으로 선정하였으며, 목표종은 대상구간에서 우점하는 피라미로 설정하였다. 모의 결과 대상구간의 최적 생태유량은 9 m³/sec 정도로 산정되었으며, 발전 방류로 인하여 댐 하류하천의 물리서식처 규모는 감소하는 것으로 분석되었다. 본 연구는 댐 발전방류에 의한 물리서식처를 분석함으로써, 댐 하류 하천에서 생활하는 생물을 고려하여 댐 운용 계획을 수립하는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 발전방류, 물리서식처, 생태유량

1. 서론

하천은 인간의 활동과 산업화에 의해 많은 인위적 교란을 받고 있다. 댐과 관련 시설은 경제발전과 더불어 인간의 생명과 산업을 위한 용수를 공급하고 홍수를 예방하는데 있어 많은 기여를 한다. 따라서 많은 국가에서는 용수공급, 홍수제어, 그리고 발전 등에 활용하기 위하여 댐과 저수를 개발하였다. 최근에 문제가 되고 있는 화석연료의 비용과 고갈 그리고 탄소 저감을 위하여 댐을 통한 수력발전은 특히 주목받고 있다. 수력발전은 저수지의 수문조작을 통해 발생하는 발전방류(hydropeaking)를 야기한다. 이러한 발전방류는 비정기적으로 일순간에 방류되기 때문에 하류하천의 유사, 영양물질, 물리서식처 등의 심각한 인위적 교란을 야기할 수 있다.

어류나 수생동물의 개체수는 영양물질, 수질, 온도, 은신처 등과 같은 서식처 요소뿐만 아니라, 인간의 인위적 교란, 종간의 경쟁, 포식생물 등과 같은 요소에도 영향을 받는다(Garcia de Jalon과 Gortazar, 2007). 이와 같은 모든 인자를 고려하여 수생생물의 개체수를 검토하는 것이 바람직하나, 현재로서 이와 같은 모든 인자를 모형화 하기에는 한계를 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 물리서식처 인자만을 고려하여 수생생물의 분포와 성장 잠재력을 평가하고자 한다.

본 연구의 목적은 댐 발전방류가 하류 하천에서의 어류 서식처에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 이를

* 정회원 · 한국건설기술연구원 연구원 · E-mail : himdk@kict.re.kr

** 정회원 · 한국환경정책평가연구원 책임연구원 · E-mail : hskang@kei.re.kr

** 정회원 · 한국건설기술연구원 연구원 · E-mail : kikumorah@kict.re.kr

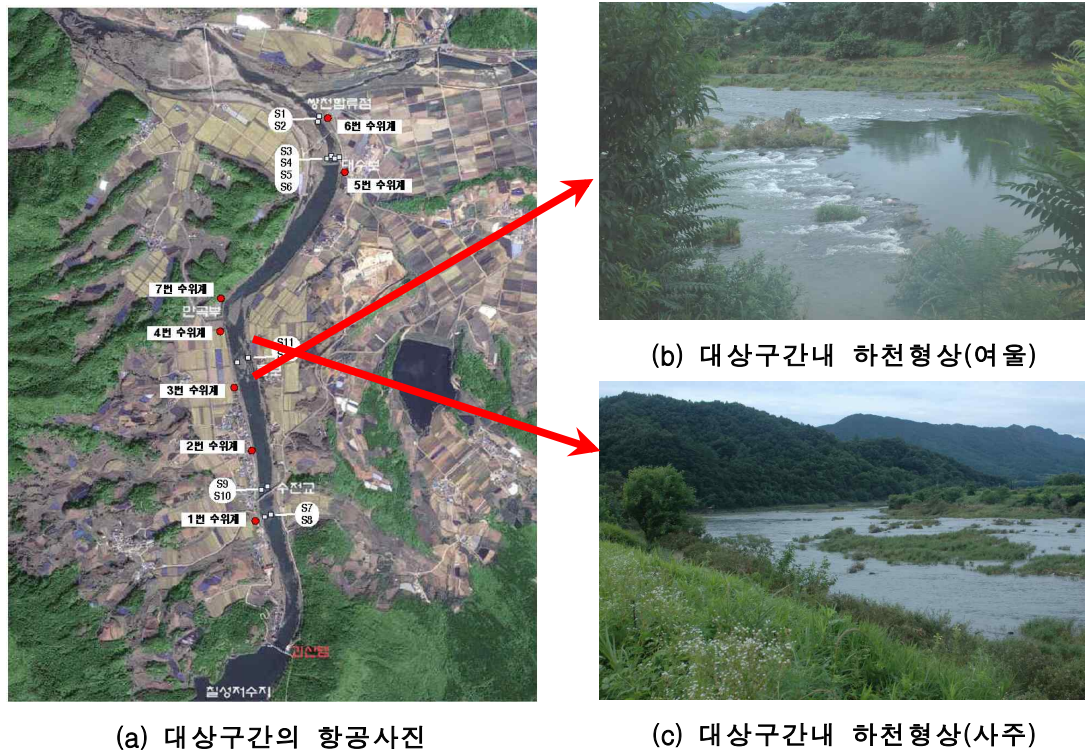
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 책임연구원 · E-mail : khkim1@kict.re.kr

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 살펴 보았다.

2. 자료 구축

2.1 대상 구간

본 연구에서 적용한 대상구간은 남한강 제1지류 달천의 일부구간 이다. 본 연구에서 적용한 대상구간은 김지성 등 (2007)의 연구에서 적용한 구간과 동일하며, 수리 및 지형자료 등 수리해석을 위한 모든 자료는 김지성 등 (2007)과 지표수 조사 시스템 적용(과학기술부, 2007)의 자료를 인용하였다. 대상구간은 그림 1 과 같이 충북 괴산군 칠성면 외사리에 소재한 괴산댐으로부터 3.3 km 하류의 쌍천과 합류하는 구간이다. 괴산댐의 유역면적은 675.2 km²로 대상구간의 계획홍수량은 1,750 m³/s이며, 대상구간의 하상재료는 주로 호박돌이고 하상경사는 1/650 정도로서 일반적인 자갈하천의 양상을 보이고 있다. 그리고 상류의 괴산댐에서는 홍수시 최대 1,000 m³/s 정도의 댐 방류가 행해지고 상류의 강우에 의한 유입 상황에 따라 다양한 규모의 유량이 방류되며 평저수시에도 5~20 m³/s 정도의 발전방류로 인하여 다양한 규모의 유량자료 취득이 용이하다. 대상구간에는 그림과 같이 총 8종 18대의 수위계가 설치되어 있으며, 물리서식처 모의를 위한 충분한 수리모형 검증자료를 확보할 수 있다.



(a) 대상구간의 항공사진

(b) 대상구간내 하천형상(여울)

(c) 대상구간내 하천형상(사주)

그림 1. 대상구간에 대한 하천 양상

2.2 대상 어류

일반적으로 어류 서식처 모의를 위한 대상 어종은 하천관리 관점에서 사회 및 환경적 중요도, 어류상과 서식 등에 대한 가용 정보의 정도 등에 따라 선정한다. 그러나 대체적으로 사회적 인지도가 우점종(dominant species)과 환경 변화에 취약한 보호어종을 중심으로 선정한다. 따라서 해당 하천에 따라 일반적인 지표어종(indicator species), 우점종, 멸종위기 어종(endangered species), 보호 어종, 낚시 어종, 또는 상업성 어종 등을 대상으로 선정할 수 있다. 특히 하천 개발 사업과 취수 허가 등의 하천 관리 등에 따른 어류 서식처 보전을 위해서는 해당 하천의 지표어종과 다수 출현 어종, 보호어종을 중심으로 선정하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 우리나라 하천에 대한 지표어종 등에 대한 명확한 기준이 없는 점을 고려하여 사회적 인지도가 높은 우점종을 대상으로 한다. 달천 대상구간에 대한 대상 어류는 본 연구지점에서 조사한 자료가 없는 관계로, 손영목(1991)과 한국건설기술연구원(1998)의 조사 결과에서 다수가 출현한 우점종이면서 여울에서 서식하는 유영성 어종인 피라미(*Zacco platypus*)를 선정하였다. 또한 피라미에 대한 서식처 적합도 지수는 다양한 방법으로 개발 및 적용된 사례가 풍부하다. 본 연구에서는 그림 2와 같이 김규호(1999)가 제시한 서식처 적합도 지수를 이용하여 피라미에 대한 물리서식처 평가를 수행하였다.

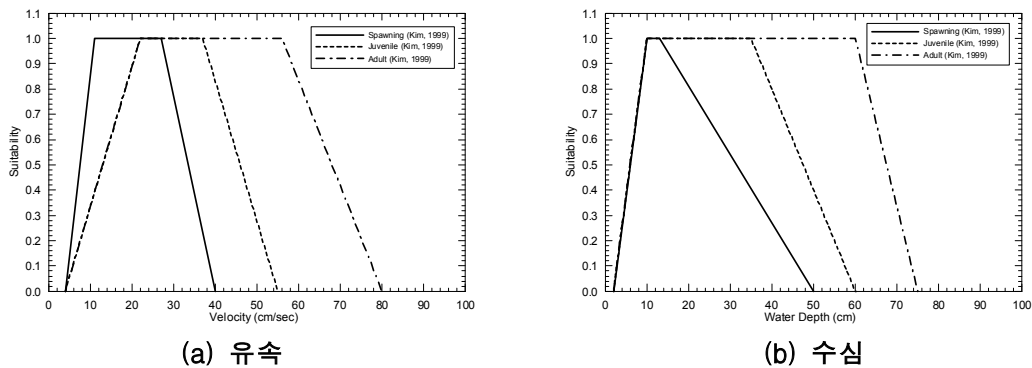


그림 2. 피라미에 대한 서식처 적합도 지수 (김규호, 1999)

3. 해석 결과

3.1 모형 검증

수치모의 결과의 검증을 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/sec - 1,183 m³/sec의 유량 범위에 대한 수위를 측정하였다. 본 연구에서 서식처 적합도 분석을 위해 사용된 상류단 유량은 약 15 m³/sec미만의 상대적으로 작은 유량이므로, 이에 대한 현장 측정 데이터와의 비교가 필요할 것이다. 그러나 이러한 작은 유량에 대해 현재까지 알려진 수리 데이터가 존재하지 않는다. 따라서 수치모형의 검증을 위해 이용 가능한 가장 작은 유량인 37 m³/sec와 상대적으로 큰 유량인 250 m³/sec에 대하여 현장 측정 결과와 수치모의 결과를 비교하였다. 그림 3은 계산된 수위와 현장 측정 결과의 비교를 보여준다. 그림 3에서 37 m³/sec 유량에 대

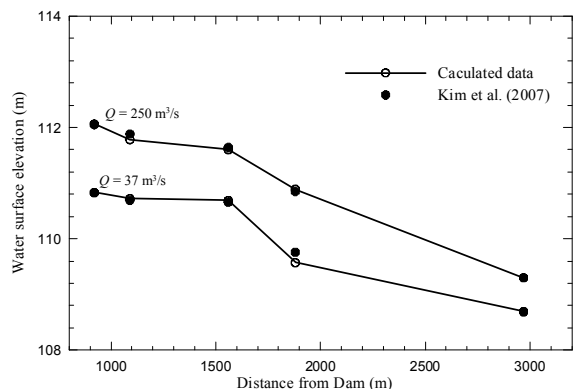


그림 3. 수위 계산결과 및 현장 실측 데이터 비교

한 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/sec 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.

3.2 물리서식처 평가

그림 4는 유량 별 예측된 가중가용면적의 변화를 보여준다. 임의의 하천에서 가중가용면적이 크다는 것은 그만큼 대상 어종의 서식처 및 활동 영역이 크다는 것을 의미한다. 그림 2를 살펴보면 성어기의 피라미가 치어기 및 산란기의 피라미 보다 더 많은 가중가용면적을 확보하고 있음을 알 수 있다. 이는 당연한 결과로서 앞의 그림 2에 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 유량은 약 9 m³/sec이고, 성장기 및 산란기에 대해서는 약 4 m³/sec와 2 m³/sec인 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 임의 하천에서 최적의 생태유량을 산정하기 위해서는 복합 어종에 대한 물리, 생물, 화학적 서식처 분석이 필요할 것이다.

그림 5는 댐 발전방류량 조건에 대한 일주일 간의 시간 별 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 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/sec로서 대상하천의 갈수량 1.82 m³/sec보다 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 5에서 갈수량 1.82 m³/sec 경우에는 각각의 가중가용면적이 약 13,056 m², 10,788 m², 9,744 m²인 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 큼에도 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 5에서 선형적으로 비교해 보면 약 1.37 m³/sec의 유량이 계산된다. 즉, 댐에서 일주일간 평균적으로 약 2.97 m³/sec의 유량을 방류하였지만, 성어기 피라미를 기준으로 계산된 일주일 평균 가중가용면적은 일주일 동안 약 1.37 m³/sec의 유량이 흐른 것과 동일하다. 따라서 두 유량의 차이만큼을 비 발전기간 동안에 사용할 수 있다면 현 상태의 발전방류로 인한 하류 하천의 생태 서식처에 미치는 악영향을 최소화 시킬 수 있을 것으로 보인다.

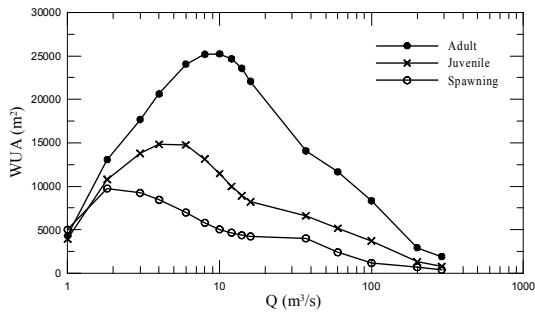


그림 4. 피라미의 성장단계별 유량에 대한 가중가용면적 변화

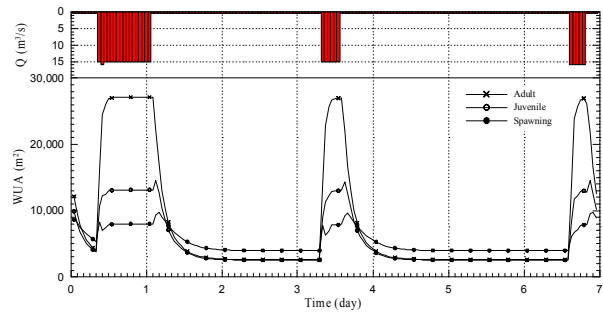


그림 5. 발전방류에 따른 가중가용면적 변화

5. 결과

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. 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 조정지댐을 건설하여 최적의 유량을 지속적으로 방류 및 조절하는 것이 대안이 될 수 있을 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설핵심기술연구개발사업(06 건설핵심B01)에 의한 "자연과 함께하는 하천복원 기술개발"의 지원으로 이루어진 것이며 본 연구를 가능케 한 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 과학기술부 (2007). 21세기 프론티어연구개발사업-수자원의 지속적 확보기술개발 사업- 지표수 조사 시스템 적용.
2. 김규호 (1999). 하천 어류 서식 환경의 평가와 최적유량 산정, 박사학위논문, 연세대학교.
3. 김지성, 이찬주, 김원 (2007). "실측 수위에 의한 자갈하천의 조도계수 산정", 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제40권, 제10호, pp.755-768.
4. 손영목 (1991), "충청북도산 담수어류," 서원대학교 기초과학연구논총, 제5권, pp. 1-38.
5. 한국건설기술연구원 (1998), 한강 유역 하천생태계(어류) 및 서식환경 조사 보고서, 상명대학교 기초과학연구소.
6. Garcia de Jalon, D. and Gortazar J. (2007), "Evaluation of instream habitat enhancement options using fish habitat simulations: case-studies in the river Pas (Spain)", *Aquatic Ecology*, Vol.41, no.3, pp. 461-474.