

하천의 생태 · 수문학적 평가 방법



고 익 환 ▶▶▶

한국수자원공사 수자원연구원 연구위원
ihko@kwater.or.kr



박 상 영 ▶▶▶

한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원
syPark119@kwater.or.kr



김 정 곤 ▶▶▶

한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원
jkkim@kwater.or.kr

1. 서론

대부분의 자연하천에 있어 홍수, 하도변화, 수리구조물 설치 등 자연적 또는 인위적인 요인으로 인해 하천의 생태·수문학적 거동은 끊임없이 변화하고 있다. 최근 우리나라에서도 하천의 건강성 향상을 위하여 댐 직하류하천 정비사업, 수질 및 생태환경 개선을 위한 증가방류, 생태·수문학적 평가를 통한 댐운영 개선방안 도출 등 선진국에서 시도되고 있는 다양한 하천관리 개선 방안을 시험하고 있다. 이러한 과업 목표의 성공적인 달성을 위해서는 하천의 생태·수문학적 특성에 대한 정량적 파악 및 분석이 필수적이다. 그동안 우리나라에서 수행된 하천평가에 대한 연구는 대부분 하천의 주요지점별 유황 곡선을 산출하고 유

량변동계수를 산정하는 수량측면의 연구로서 이를 활용한 생태학적 특성과의 연관분석은 미미한 형편이다. 하천의 생태시스템은 외부의 영향에 대하여 수문학적, 물리적, 생화학적 특성이 상호 유기적으로 반응하며 변화하는 특성을 지니고 있으며, 이러한 현상에 대한 해석 또한 다양한 분야의 전문가에 의한 통합적 접근(integrated or holistic approach)이 필요하다. 이 글에서는 수자원연구원과 호주 eWater CRC 전문가가 공동으로 참여한 다학제간 전문가그룹(Multi-disciplinary Expert Team)에 의한 통합적 생태·수문학적 하천 건강성평가 방법에 대하여 소개하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 다학제간 전문가 그룹에 의한 평가방법 도입

하천생태시스템의 영향인자 분석을 위해서는 다학제간 전문가그룹의 구성을 통해 상호 전문적인 의견을 교환하고 견해를 정리하게 된다. 이를 바탕으로 하천 생태계를 회복하기 위한 조건을 설정하고 전문가 평가를 통해 시나리오 분석과 모형을 이용한 모의를 실시하게 된다. 다음으로는, 최적의 하천생태 조건을 결정하여 최종적으로 이를 만족할 수 있는 유량을 산정하여 이를 유지하기 위한 대안을 제시함으로써 생태·수문학적 하천평가가 이루어지게 되는 것이다.

기존에는 이러한 다학제간 전문가그룹의 구성없이 특정 분야의 전문가가 하천생태계의 상황을 파악하고 특정분야에 대한 평가를 통해 해결방안을 제시하

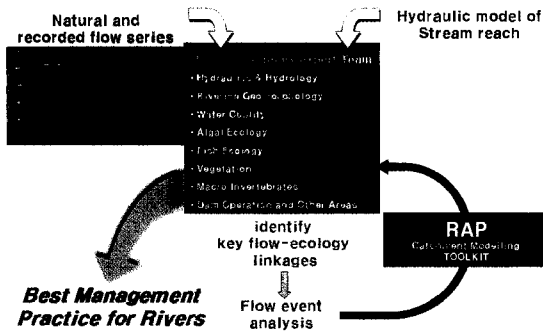


그림 1. 수자원연구원과 호주 eWater CRC와 구성된 다학제간 전문가그룹의 전문분야 및 분석 프로세스

는 것이 일반적이었다. 그러나 복잡한 하천생태를 고려하여 하천 유량에 대한 생태·수문학적 평가를 통해 보다 구체적이고 건강한 하천 생태계 유지를 위해서는 앞으로 다학제간 전문가그룹의 구성은 필수적이라 할 것이다. 본 연구를 위해 구성한 다학제간 전문가그룹에는 하천계획, 수리, 수문, 지형, 수질, 어류, 저서생물, 식생 등 각 분야에 대해 수자원연구원과 호주 eWater CRC의 많은 전문가가 참여하였다(그림 1).

2.2 평가모형 개발 및 활용절차

하천의 생태시스템에 대한 분석은 하천을 중심으로 구성된 하도특성, 하천의 단면 및 하상 특성, 유량, 수질, 어류 및 식생 등의 동식물 특성 등 다양한 분야에 대한 분석이 이루어져야 한다. 그러나 이러한 모든 분야는 매우 복잡하며 각 분야들 간 상호 기작(Feed Back)의 영향 때문에 이들을 동시에 정량적으로 고려하여 하천의 생태시스템을 평가하는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 따라서 하천의 생태시스템에 가장 큰 영향을 미치는 인자를 선택하여 이를 대상으로 하천의 생태시스템을 분석하는 것이 현실적으로 접근 가능한 방법일 것이다. 최근 고조되고 있는 하천생태를 중심으로 하는 하천관리를 위한 생태·수문학적 하천평가가 이루어지기 위해서는 전체적인 하천 시스템에 미치는 영향인자를 도출하여 이들의 장단점을 정량적으로 분석할 수 있는 방안을 마련하는 것이 필수적이다. 이를 위해서는 기존의 수문학적 유황변화를 생태적 관점으로 분석함과 동시에 국외 선진국에서 시행하고 있는 생태하천을 유지하기 위한 평가기법을 검토하고



그림 2. 생태·수문학적 하천평가를 위한 시스템 구축

이를 국내에 적용할 수 있는 방안을 마련하고자 노력하고 있다.

이 연구에서는 수자원 프론티어 국제 연구사업을 통하여 수자원연구원이 개발한 RRFs와 K-Modsim 및 기존에 국내에서 많이 이용되고 있는 수리해석 Tool인 HEC-RAS를 이용한 자료 및 하천의 수리학적 자료 분석을 통해 유량-생태간 영향인자를 분석하고 유량 사상에 대한 분석을 통해 eWater CRC(Marsh, 2004)에서 개발한 생태유량 산정모형인 RAP(River Analysis Package)을 이용하여 결과를 분석하고 이를 바탕으로 생태·수문학적 하천평가를 실시할 수 있는 방법을 개발하였다(그림 2). 생태·수문학적 평가 시, RAP을 운용하기 위해서는 RAP 이외의 모형으로부터 기본적인 입력자료를 제공받아야 하는데, 주로 하천의 수리, 수문, 생태자료가 그것이다. 하천의 수리자료는 HEC-RAS를 통해 제공받는데 대상 하천구간의 지형자료와 유량, 유속, 수심 등이며, 수문자료는 장기간의 유황자료로서 RRFs, K-ModSim 등의 모형을 통해 제공받으며, 생태자료는 어류, 식물, 조류, 저서생물 등 각 분야별로 만들어진 기초자료를 해당 분야의 전문가들로 구성된 다학제간 전문가그룹을

통해 각 분야의 상관성을 분석하여 제공받아 이를 기초자료로 활용하여 분석된 RAP의 결과는 다시 다학제간 전문가그룹의 평가를 통해 feedback되어 최종적으로 하천의 생태분석 결과를 평가하여 생태 복원을 위한 대응 방안을 마련하게 된다.

3. 금강유역에 대한 예비적용 결과

3.1 분석절차 수립

생태·수문학적 하천평가를 수행하기 위해서는 해당 하천유역에 대한 수문특성 및 하천환경특성 변화가 생태계에 미치는 영향을 체계적으로 분석하여 정량화 할 수 있는 일련의 분석절차를 수립해야 한다. 이러한 분석절차는 대상하천의 특성뿐만 아니라 유역의 개발현황에 따라 적절하게 구축되어야 한다. Jorde(2006)가 제안한 하천의 생태시스템 평가 방법론을 기초해서 금강유역에 대하여 분석절차를 그림 3과 같이 수립하였다. 금강유역에 대해 대청댐 건설 이전, 대청댐 건설이후부터 용담댐 건설 이전, 대청댐과



그림 3. 금강유역에 생태·수문학적 분석 절차

용담댐 건설 이후 등 3개의 시나리오를 통해 하도 및 수변공간과 유량변화에 따른 유황분석 등을 통해 변화된 생태시스템을 정량화하여 궁극적으로는 긍정적인 방향으로의 복원을 위한 대응방안을 마련할 수 있도록 구축하였다.

3.2 현장답사

생태·수문학적 영향을 평가하기 위해 금강유역을 수 개의 구간 및 지점으로 나누어 수자원연구원 및 호주 eWater CRC 연구진이 합동으로 2006년 9월에 현장조사를 실시하였다(그림 4). 이러한 과정을 통해서 각 분야별 전문가들이 내린 평가 결과를 종합하여

향후 평가를 위한 방향을 설정하였다.

3.3 유황 변화 분석

KModSim모형을 이용하여 금강수계에 위치한 대청댐과 용담댐의 운영 전후 가정조건하에서 1984년부터 2006년까지 23년간의 유량자료를 수통지점과 공주지점에 대하여 생산하였다. 각 시나리오별 일별 유량을 생성한 후, 시계열 자료에 대한 통계분석과 이 자료를 활용한 생태-수문 연계분석을 실시하였다. 수리구조물에 의한 유황의 변화와 하천환경의 변화에 따른 생태계의 영향을 정량적으로 분석하고, 환경유량을 산정하기 위한 도구로써 RAP가 사용되었다.

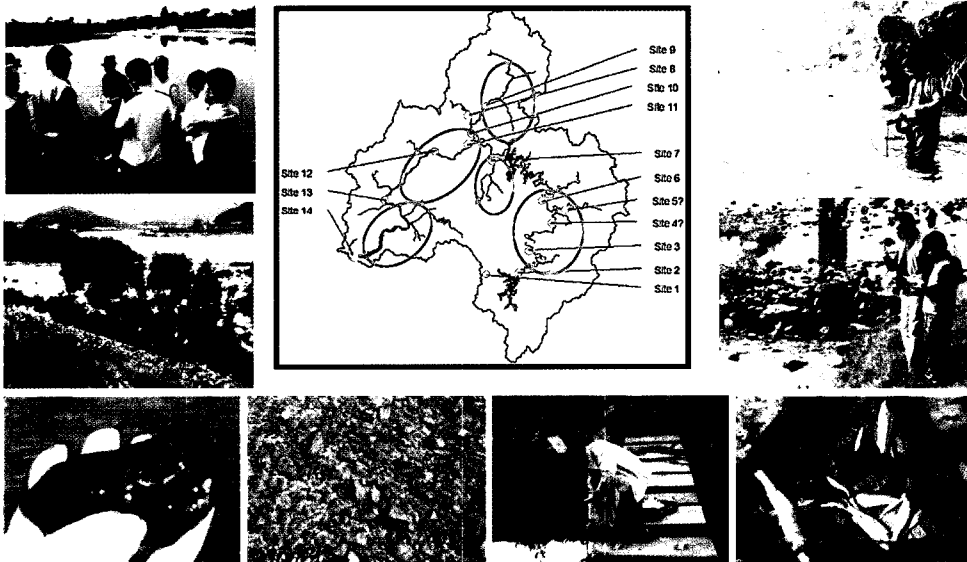


그림 4. 생태·수문학적 분석을 위한 현장조사

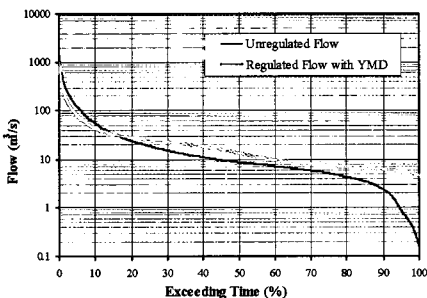


그림 5. 수통지점에 대한 Flow Duration Curves

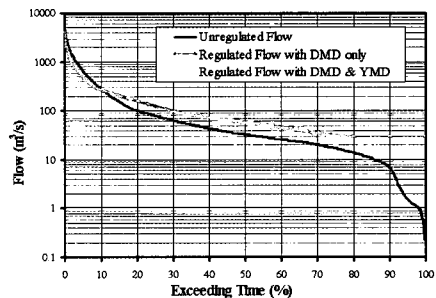


그림 6. 공주지점에 대한 Flow Duration Curves

시계열자료의 범위와 퍼진 정도를 분석하기 위하여 수통과 공주지점에 대한 유량지속시간곡선(Flow Duration Curve)을 각각 그림 5, 6에 나타내었다. 그래프에서 x-축의 백분율(%)은 y-축의 특정 유량을 초과할 시간의 비율을 나타낸다. 유형분석결과, 수통과 공주 두 지점 모두, 고유량 부분에서는 비조절 유량이 크고, 저유량 부분에서는 조절유량이 크며, 조절 유량이 비조절 유량을 초과하는 변곡점이 약 10 ~ 15%로 나타났다. 공주에서는 대청댐만 있는 경우와 대청댐·용담댐 모두 있는 경우에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

3.4 수문-어류서식처 연계분석

하천환경의 인위적인 변화에 따른 어류서식처 변화를 분석하기 위하여 대표어종을 선정하여 분석을 수행하였다. 대표어종의 선정기준은 경제성 어종, 토착 어종, 멸종위기종(보호어종)으로 구별될 수 있으며, 본 연구에서는 대청댐 하류구간을 대상으로 멸종위기종인 “감돌고기 (Pseudopungtungia nigra)”를 대상으로 RAP을 이용하여 분석을 수행하였다(그림 7). 용담댐 하류 조사지점에서는 멸종위기 야생동·식물 I 급종인 감돌고기가 26개체가 확인되었다. 감돌고기는 금강 중상류, 만경강 일부에 서식하는 것으로 알려졌으나 최근 서식분포 감소에 따라 보호종으로 지정되어 법적 보호를 받고 있다. 2007년도에 금강수계 2개 지점에 대하여 조사한 자료에 따르면 감돌고기의 서식처 조건으로 유속은 0.12m/s에서 0.80m/s의 범위에서 서식하며 소(Pool) 및 여울(Riffle) 보다는 유속이 완만한 유수역(Run)을 선호하며, 수심은 0.35m 부터

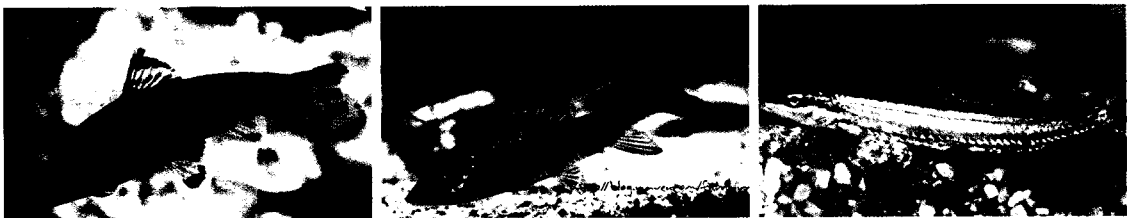
0.82 m 범위 즉, 수심이 깊은 지역보다는 1m 이내 수심이 낮은 곳을 선호하는 것으로 조사되었다.

하천구간별 서식처조건을 분석하기 위하여 대청댐 하류부터 공주까지의 구간을 미호천합류점을 중심으로 상하류로 나누어 분석을 수행하였다(그림 8). 미호천 합류후 구간(Section A)은 비교적 대청댐의 영향이 적은 구간이며 완만한 하상경사 구간이다. 미호천 합류전 구간(Section B)은 대청댐 방류수의 영향을 직접적으로 받는 구간이며 상대적으로 하상의 경사가 심한 구간이다.

각 구간별 선택된 단면에 대하여 감돌고기 서식처 규칙을 적용하여 계산된 Rating Curve는 그림 9와 같다. 그림에서 X축은 유량이고, Y축에 주어진 수심 및 유속에 대한 서식처조건을 만족하는 수표면 폭의 길이를 나타낸다. 감돌고기 서식처 조건을 만족하는 하천구간을 수표면 폭으로 분석한 결과, 미호천 합류 후 구간인 Section A의 경우 39.46m³/s의 유량이 흐를 때 최적 조건이며 이때 이 구간에서 평균 수표면 폭은 31.7 m로 분석되었다. 미호천 합류 전 구간인 Section B는 21.32m³/s가 최적 유량이며 이때 평균 수표면 폭은 68.6m로 분석되었다.

4. 결론

이 연구를 통하여 유역 물수지분석 모형(KModSim)과 하천 생태환경분석 모형(RAP)을 연계, 이용한 하천환경 평가 및 관리 기법에 대한 유용성 여부를 확인하였다. 또한 건강한 하천관리를 위한 방안을 마련하



감돌고기(Black shinner)

참마자(Longnose barbel)

쉬리(Korean shinner)

그림 7. 감돌고기 및 주요 어종 사진

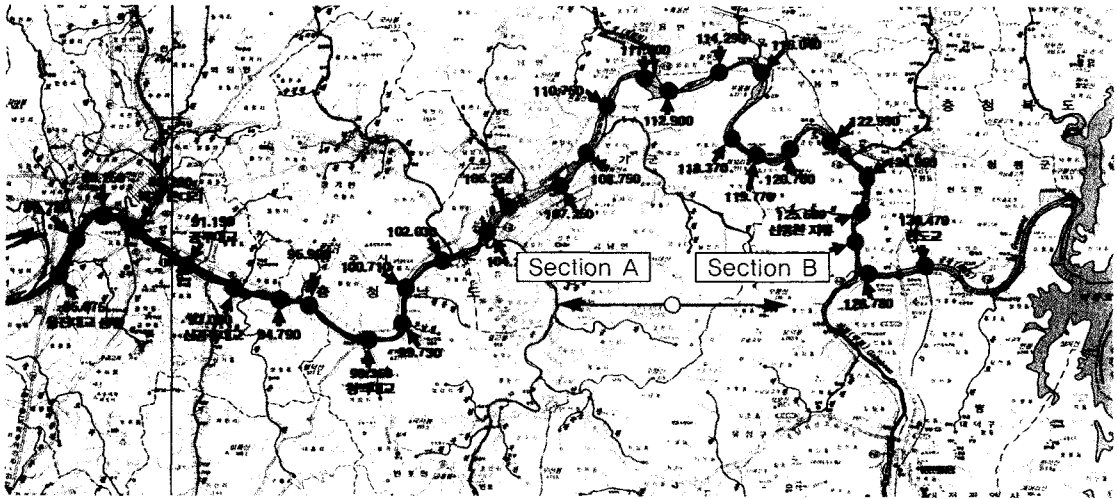
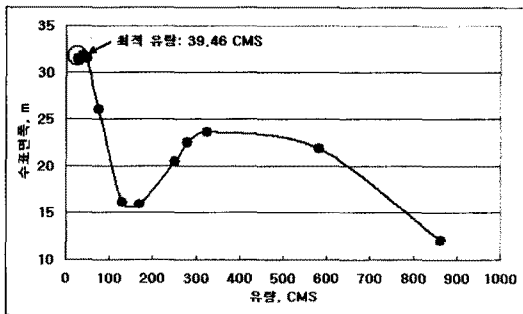
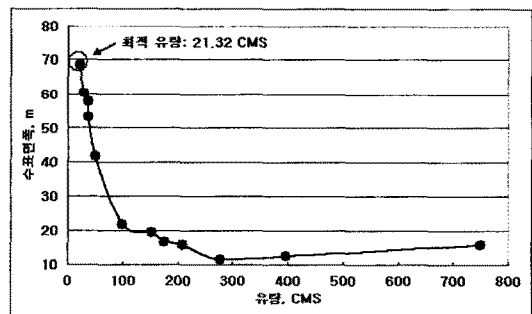


그림 8. 분석에 이용된 대청댐 하류 금강 본류 구간의 주요 지점 분포도



(a) 미호천 합류 후 구간



(b) 미호천 합류 전 구간

그림 9. 감돌고기의 서식조건 및 수리학적 파라미터에 대해 산정된 Rating Curve

기 위하여 하천의 인위적인 요소들이 하천생태계에 미치는 영향을 정량적으로 파악함으로써 각종 유역관리 모형들을 활용한 하천의 생태·수문학적 평가기법을 제시하였다. 멸종 위기종인 감돌고기를 대표어종로 선정하여 수문-생태변수 간의 상관분석을 통하여 대청댐 하류에서의 종 개체수 감소에 대한 인과관계, 즉 수리구조물에 의한 유황의 변화와 하천환경의 변화에 따른 생태계의 영향에 대한 정량적 분석을 시도하였다. 향후, 추가적인 자료와 분석을 통해서 서식처 조건에 민감한 감돌고기와 같은 종의 수질, 하상교란 등의 요인과 더불어 유황변화에 따른 서식처조건 변화와의 상관관계 등의, 정밀한 결과를 도출하게 되면 하천유역의 생태·수문학적 특성을 통합적으로 이해하는 기

반 아래 지속가능한 하천관리 방안 평가, 분석에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

Jorde, K. (2006). Reservoir Operations and Ecosystem Losses, The 2nd International Workshop on River Environment, KICT, Korea, pp. 41-66.
 Marsh, N. (2004). River Analysis Package Users Guide, CRC for Catchment Hydrology, Australia.