

# 하천 서식처 해석을 위한 생태 모형 개발 연구

## Development of eco-hydraulic model for Riverine Habitat Analysis

서일원\*, 최황정\*\*, 송창근\*\*\*

Il Won Seo, Hwang Jeong Choi, Chang Geun Song

### 요 지

수자원 개발이 자연 하천 생태계에 미치는 다양한 악영향들은 하천에 서식하는 동·식물의 생태서식지의 변화를 초래할 수 있다. 하천생태계를 보전하고 복원하기 위해서는 수리학과 생물학이 연계된 생태수리학적 모형을 지속적으로 연구·개발하여 수자원 개발에 따른 장래의 물리적인 거동을 비교적 정확하게 분석 및 예측하는 것이 필요하다.

본 연구의 목적은 21세기 프론티어 연구사업 ‘RAMS (River Analysis and Modeling System) 적용’ 과제 중 개발된 RAM2, RAM4, RAM6 해석 모형으로부터 유속, 수위, 수온, SS, 하상고, 하상재료 데이터를 받아들여 GIS와 연계하는 2차원 하천 생태 모형 (RAM 8)을 개발하는 것이다. 그리고 개발에 따른 모형 검증을 위해서 우리나라 4대 강 중 유일하게 하구둑이 설치되어 있지 않아 자연적인 하천지형과 기수역 생태계가 잘 보존된 한강 하구부를 적용구간으로 선정하여, 서식지 적합성을 판단하고 그에 따른 적정 유량을 산정하여 1차원 서식처 모형인 PHABSIM을 이용한 결과와 비교한다.

**핵심용어 : 생태서식처, RAMS, 하천 생태 모형, RAM8, PHABSIM**

### 1. 서 론

산업의 발전과 인구의 증가에 따른 인류의 물 수요가 꾸준히 증가하고, 물 관련 사업이 다양해지고 규모가 거대해짐에 따라 지구상의 수계에 상당한 영향을 미치고 있다. 즉 하천 유역에서의 토지 이용의 변화와 삼림의 벌채는 유출량을 증가시켜 하상의 변형을 야기하고, 탁도를 증가시켜 식물의 광합성 작용 저하로 유기물의 발육을 저해한다. 그리고 댐과 수로내의 구조물은 하천 종방향의 생태계를 차단시켜 어류종의 다양성을 감소시키고, 직강을 포함한 하천개수는 하천수로 구조를 단순화하여 친수환경가치의 감소와 생태계의 다양성의 감소를 초래한다.

하천은 하천생태계의 고유 공간일 뿐만 아니라 인간의 정서 함양 공간으로 인식되어 왔으며, 특히 전통적으로 인간과 가장 친밀하여 생활의 지표로서 인식되는 어류가 서식하는 공간으로서 가장 중요한 위상을 차지하고 있다(Odum, 1993; Allan, 1995; 김규호, 2000). 하지만 하천 개발 사업, 하천 취수량의 증가, 각종 오염원의 유입으로 하천수질의 악화가 발생되고 있다. 그리고 하천

\* 종신회원 · 서울대학교 건설환경공학부 교수 · E-mail : [seoilwon@snu.ac.kr](mailto:seoilwon@snu.ac.kr)  
\*\* 서울대학교 건설환경공학부 석사과정 · E-mail : [hjeong@snu.ac.kr](mailto:hjeong@snu.ac.kr)  
\*\*\* 정회원 · 서울대학교 건설환경공학부 박사과정 · E-mail : [bay680@snu.ac.kr](mailto:bay680@snu.ac.kr)

구조개선 등에 따른 수량, 수질, 서식 구조 측면에서 서식처의 감소와 수생서식지에 대한 완충지대가 손실되고, 수질의 악화는 생태계의 질저하를 초래하였다. 이와 같이 환경과 생태계의 질저하가 심화됨에 따라 우리나라에서는 1980년대 이후로 환경보전, 특히 야생동물 서식지의 중추라 할 하천 환경에 대한 관심이 크게 늘고 있으나, 개발 압력 또한 주춤할 기세가 없는 터라 전반적으로 개발과 보전을 주장하는 이들 간의 갈등이 심화되고 있다.

최근의 하천관리 방법은 발전과 용수에 대한 수익성 이용과 수질, 위락 및 심미의 보호와 질 제고가 균형을 이루도록 하는 소위 다목적 하천관리로 발전해왔다. 하천의 복원과 질 제고에 대한 접근 방법은 일시적인 공학적인 처리보다는 자연적인 발생에 의한 생태적인 치유를 추구하는 물리적인 과정에 역점을 둔다. 이러한 개념의 복원을 실행하고 관리계획을 개발함과 동시에, 수문학적 및 생태학적인 반응을 모의하고 수생계의 복잡성을 풀어 가는 것은 과학과 공학프로그램의 경계를 넘나드는 학제 간의 접근방법을 필요로 한다. 이에 따라 하천생태계에서 어류 생태 환경을 보전하고 복원하기 위해서는 수리학과 생물학이 연계된 생태수리학적 모형을 지속적으로 연구·개발하여 수자원 개발에 따른 장래의 물리적인 거동을 비교적 정확하게 분석 및 예측하는 것이 필요하다. 특히, 어류 생태 환경을 보전하고 복원하기 위해서는 일반적으로 세 가지 기본적인 조건, 즉 수질, 수리, 하도 구조 조건, 다시 말하면 좋은 수질, 충분한 수량, 그리고 서식을 위한 안정된 물리적 구조가 필요하다(Gore, 1989; 김규호, 2000). 악화되는 하천 수질을 개선하고 여울과 웅덩이가 반복되는 하도의 어류 서식처를 제공하기 위해서는 어류 서식 환경을 보호하고 유지하는데 필요한 적정유량을 산정 및 확보하여야 한다. 그리고 개발논리에 의한 국토개발이 환경에 미치는 영향을 예측하고 하천 환경과 직접적인 관계가 있는 하천 어류 생태 환경이 잘 보전되고 복원 될 수 있도록 노력을 기울여야 할 것이다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 연구 동향

하천 생태 서식지에 대한 연구와 이에 따른 하천유지유량에 대한 연구는 북미와 유럽, 호주 등 선진국에서 1970년대부터 시작하여 하천유지유량의 산정 및 추천치를 개발하고 결정하기 위해 과거 많은 어류 서식 환경 평가 기법이 개발되어 왔다. 특히 미 내무성 산하의 어류 및 야생동물국(Fish and Wildlife Service)을 중심으로 연구가 진행되고 1977년 미 야생동물국의 유지유량팀(Instream Flow Group)에 의해 개발된 유량 점증 방법론(IFIM, Instream Flow Incremental Methodology)이 지금까지 가장 정교한 모형으로 인정되고 있다. 그리고 국내에서는 90년대 후반부터 어류를 고려한 하천유지유량 개념을 도입하였고(김규호 등, 1999), 어류를 포함하여 하천 생태계를 고려한 하천유지유량은 주로 유량 점증 방법론의 주요 성분을 구성하는 계산 과정인 물리적 서식처 모의 시스템(PHABSIM, Physical HABitat SIMulation)에 의해 추정되었다. PHABSIM에 의해 설정된 유량은 댐 개발 및 운영이나 하천 취수 등 하천 저수관리 측면에 관련된 수자원 의사결정수단으로 전 세계에서 널리 활용되고 있다(Bovee, 1982; Bovee 등, 1998; 임동균 등, 2007).

현재까지 해외에서는 특정어류의 생태 서식지의 분석 및 평가, 복원 및 보전을 위해 PHABSIM 모형을 이용하여 유량에 따른 가용 가중 면적(WUA, Weighted Usable Area)을 산정하고, 그에 따른 적정유량을 산정하는 많은 연구가 진행되었다. Shuler와 Nehring(1993)은 하천사업에 인공 여울을 조성함으로써 어류 서식처가 양적 및 질적으로 향상되는 것을 확인하였으며,

Booker 와 Dunbar(2004)는 도시하천의 물리서식처 평가를 통해 인공 정비가 적은 지역이 보다 높은 어류 서식처를 제공한다고 분석하였다(임동균 등, 2007). 그리고 PHABSIM은 특정 어류의 생존유량(survival flow)을 고려한 수자원 분배 계획수립에도 적용되고 있다. 그리고 최근 Leclerc 등(2003)은 가중 가용 면적을 산정하는데 있어서 기존의 1차원 수리모형인 PHABSIM 모형과는 다른 2차원 서식처 연구를 위해 유한요소격자를 이용하였다(그림 1, 그림 2).

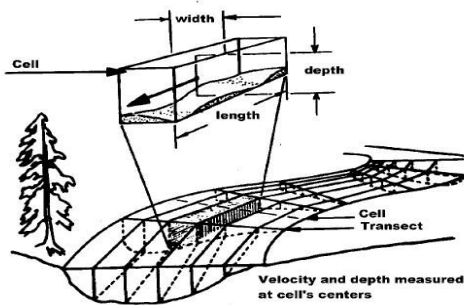


그림 1. PHABSIM 모형에서 적용한 cell

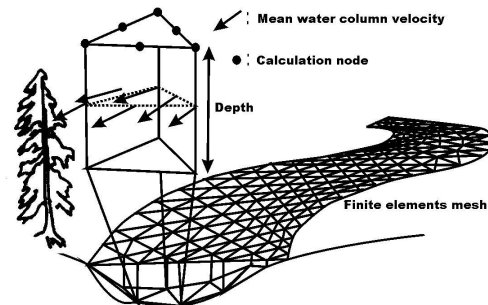


그림 2. 2D 서식처 연구를 위한 유한요소격자 (Leclerc 등, 2003)

국내에서는 유량증분방법론 개념을 도입하고, 한강 달천 유역에 대해 산정된 갈수량을 대상으로 한계 구간인 여울에서 어류 서식처의 수리학적 조건을 해석하여 필요한 유량을 산정하는 연구가 처음으로 진행되었다(김규호 등, 1999). 정상만 등(2006)은 한강수계의 주요 지천을 선정하고 어류 서식처에 대한 수리모의를 위하여 1차원 수리모형인 PHABSIM과 함께 최근 개발되어 수리학 분야에서 폭넓게 적용되고 있는 2차원 수리모형 중 River2D를 이용하여 결과를 비교하였다. 지금까지 한강, 낙동강, 금강 등 여러 수계의 유역을 대상으로 하여 유량 변동에 따른 어류 서식환경을 평가하고 적정유량을 산정하는 연구가 활발히 진행되고 있다(성영두 등, 2005; 박봉진 등, 2005; 정상만 등, 2006; 임동균 등, 2007; 서진원 등, 2007). 하지만 지금까지의 연구는 해외에서 개발된 모형에 의존하여 연구가 진행하였기에, 이제는 최신의 선진화된 방법을 이용하여 국내 하천 환경에 보다 적합한 모형을 개발해서 하천생태계를 보전하고 복원하기 위한 수자원 개발에 따른 물리적인 거동을 비교적 정확하게 분석 및 예측하는 것이 필요로 하겠다.

## 2.2 서식처 모의 방법

연구 대상 구간의 대표어종은 사회적 인지도가 높고 여울, 어도 등에서 서식하며 다수가 출현하는 우점종과 하천에 서식하는 멸종위기어종, 보호어종 등을 고려하여 선정한다. 선정된 대표어종의 성장 단계별 또는 활동을 위해 하천 구간에서 유속, 수심, 하상재질에 따른 대상어종의 선호도에 따라 선호도 곡선을 작성한 후, 그에 따른 적용구간에서 대상어종에 가중되는 유속, 수심, 하상재질에 대한 지수를 조합하여 서식처 적합도 지수 (HSI, Habitat Suitable Index)를 산정한다(그림 3). 산정한 서식처 적합도 지수를 그림 2에서처럼 연구 대상구간을 유한요소격자로 구현하여 현장에서 취득한 자료를 검증한다. 검증된 자료를 바탕으로 유량에 따른 가중가용면적을 계산하여 생태서식처에 적합한 유량을 산정한다. 그림 4는 유량의 함수에 따른 가중가용면적 곡선의 개념을 나타낸 그림이다. 그림 5는 유량에 따른 서식처에 적합한 적정유량을 산정하는 과정을 나타낸 그림이다.

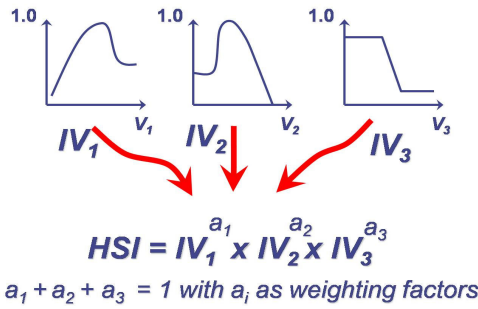


그림 3. 서식처 적합도 지수 산정 방법 (Leclerc 등, 2003)

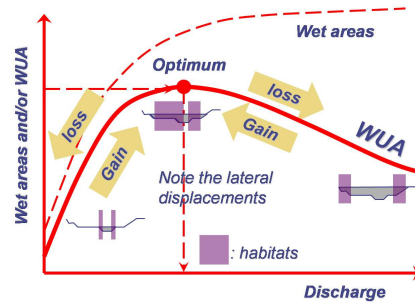


그림 4. 가중가용면적곡선

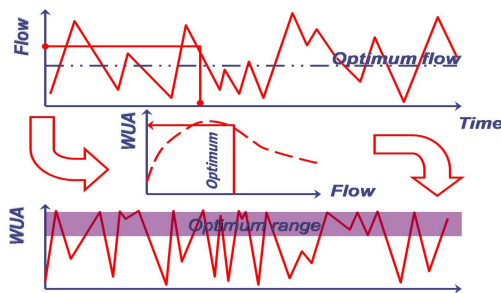


그림 5. 서식처에 적합한 적정유량 산정

### 3. 생태 모형 개발

본 연구의 목적은 그림 6에서 보는 바와 같이 21세기 프론티어 연구사업 ‘RAMS (River Analysis and Modeling System) 적용’ 과제 중 개발된 RAM2, RAM4, RAM6 해석 모형으로부터 유속, 수위, 수온, SS, 하상고, 하상재료 데이터를 받아들여 GIS와 연계하는 2차원 하천 생태 모형 (RAM 8)을 개발하는 것이다. 2차원 하천 생태 모형은 RAM2, RAM4, RAM6 해석 모형으로부터 데이터를 취득하고, 이로 인하여 구현되기 때문에 RAM8이라고 명칭을 붙였다.

이 모형에서 이용한 서식처 적용 평가 방법은 LecLerc 등(2003)이 제시한 HSI (Habitat Suitability Index)와 WUA (Weighted Usable Area)를 사용하였다. 그리고 개발에 따른 모형 검증 을 위해서 우리나라 4대 강 중 유일하게 하구둑이 설치되어 있지 않아 자연적인 하천지형과 기수역 생태계가 잘 보존된 한강 하구부(그림 7)를 적용구간으로 선정하였다. 이 모형을 이용하여 한강 하구부의 서식지 적합성을 판단하고 그에 따른 적정 유량을 산정을 한 후, 기존에 널리 이용되어지는 PHABSIM을 이용한 결과와 비교하려 한다.

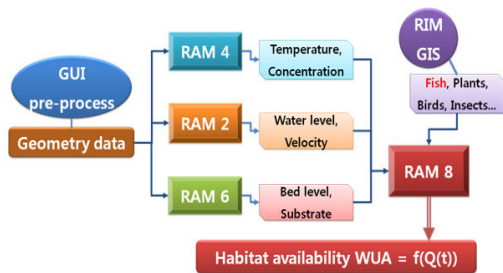


그림 6. 하천 생태 모형의 구조도



그림 7. 모형 검증 적용 구간

#### 4. 결 론

본 연구에서 개발하려고 하는 2차원 하천 생태 모형의 주된 목적은 기존에 널리 이용되는 PHABSIM 모형보다 진보된 방법을 이용하여 국내 하천 환경에 보다 적합한 모형을 개발해서 하천생태계를 보전하고 복원하기 위함이다. 하지만 현재 이 모형은 개발 단계에 있으며, 향후 지속적인 연구가 이루어져 할 것이다. 하천 생태 서식처의 물리적인 거동을 정확하게 해석하기 위한 이 모형은 수자원 개발에 따른 하천생태계의 변화를 예측하고, 이에 따른 하천생태계를 보전하고 복원하기 위한 개발 사업 계획에 활용될 수 있을 것이다. 그리고 하천 사업의 평가와 필요성을 제시하는데 효과적인 방법으로도 활용될 수 있을 것이다.

#### 감 사 의 글

본 연구는 21C 프론티어 연구개발사업(수자원의 지속적 확보기술개발)과 과학기술부 특정기초 연구(과제번호: R01-2006-000-11027-0; 과제명: 연안수질환경 개선을 위한 하천-해양 통합 해석기술 개발) 및 서울대학교 공학연구소의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

1. 김규호(2000). 하천 어류 서식 환경의 평가, 한국수자원학회지, 제33권 제2호, pp. 10-23.
2. 김규호, 박성식, 전상린(1999). 한강 달천에서 어류 조사 및 어류 서식처에 대한 수리학적 해석, 한국수자원학회 논문집, pp.517-522.
3. 김규호, 조원철, 전병호(2000). 수량·수질 모의치를 이용한 어류 서식 조건 유지에 필요한 적정 유량 산정, 한국수자원학회 논문집, 제33권 제1호, pp.3-14.
4. 박봉진, 성영두, 정관수(2005). 영천댐 건설이 금호강의 어류 서식환경에 미치는 영향에 관한 평가, 한국수자원학회 논문집, 제38권 제9호, pp.771-778.
5. 서진원, 홍영표, 김정곤, 박상영, 김기형, 고익환(2007). 금강에서의 유량변동과 어류상 변화, 한국수자원학회 논문집, pp.612-616.
6. 성영두, 박봉진, 주기재, 정관수(2005). 하천의 어류 서식환경을 고려한 생태학적 추천 유량 산정, 한국수자원학회 논문집, 제38권 제7호, pp.545-554.
7. 윤태훈 외 8명(2003). 생태환경수리학, 청문각
8. 임동균, 정상화, 안홍규, 김규호(2007). 피라미에 대한 보 철거 구간에서의 물리서식처 모의 (PHABSIM) 적용. 한국수자원학회논문집, 제40권 제11호, pp. 909-920
9. 정상만, 이주현, 김도희(2006). 어류 서식처 모의를 위한 1차원 및 2차원 수리 모형 적용, 한국수자원학회 논문집, pp.1068-1072.
10. Bovee, K. D., B. L. Lamb, J. M. Bartholow, C. B. Stalnakor, J. Taylor, and J. Henrikson(1998). Stream Habitat Analysis using the Instream Flow Incremental Methodology. U.S. Geological Survey, Biological Resources Division Information and Technology Report USGS/BRD-1998-0004, Fort Collins, Colorado.
11. Michel Leclerc, Andre Saint-Hilaire, Jose Bechara(2003). State-of-the-Art and Perspectives of Habitat Modelling for Determining Conservation Flows, Canadian Water Resources Journal, Vol. 28, No. 2, pp.1-16.
12. Michel Leclerc(2004). Ecohydraulics: a new interdisciplinary frontier for CFD, pp.1-34.