어류 서식처 모의를 위한 1차원 및 2차원 수리모형 적용

One and Two Dimensional Hydraulic Models Application for Simulation of Fish Habitat

정상만*, 이주헌**, 김도희***

Sang Man Jeong, Joo Heon Lee, Do Hee Kim

요 지

최근 하천의 유지유량을 결정함에 있어서 어류의 서식환경을 고려하여 최적의 유량규모를 제시하는 연구결과가 국내 여러 연구자에 의해서 제시되고 있다. 하천에서의 어류 서식처를 고려한 유지유량의 결정방법은 미국에서 제시된 유지유량증분 방법론(Instream Flow Incremental Methodology)에 근본을 두고 있으며 대부분의 방법이 어류 서식처에 대한 수리모의를 위해서 1차원 수리모형을 이용하여 왔다. 특히 어류 서식처에 대한 1차원 수리모의를 위하여 물리적 서식처 모의시스템(PHABSIM)이 가장 보편적으로 적용되고 있으며 모의 결과로 제시되는 어류 서식처의 가중가용면적(Weighted Usable Area)을 토대로 하여 최적 유량의 규모를 제시하게 된다.

따라서 본 연구에서는 어류 서식처를 고려한 하천유지유량 산정함에 있어서 최적유량 결정에 중요한 지표로 사용되는 가중가용면적(WUA)을 산정함에 있어서 일반적으로 사용되어 온 1차원 수리모형인 PHABSIM을 이용한 결과와 함께 최근 개발되어 수리학 분야에서 폭넓게 적용되고 있는 2차원 수리모형을 이용하여 산정된 결과를 비교하여 제시하고자 한다. 본 연구에서는 2차원 수리해석을 위해서 River2D를 이용하였으며 한강수계의 주요 지천을 선정하여 2가지의 서로 다른 수리모의 결과를 비교하였다. 대상 어종은 어류상 조사 결과, 각 지천의 우점종인 피라미를 선정하였으며 수리해석에 의한 어류의 서식처 모의를 위하여 필요한 서식처 적합도 지수(Habitat Suitability Criteria)는 낙동강 수계에서 작성된 결과를 이용하였다.

각 1차원 및 2차원 수리해석에 의해서 산정된 가중가용면적에 대한 상관분석을 실시하였으며 유지유량 증분 방법론(Instream Flow Incremental Methodology)의 개념에 입각하여 최적의 유량 값을 산정하였다. 각 지점에서의 가중가용면적-유량 관계를 모의하고 대상 어종의 성장 단계별(산란기, 성어기) 가중가용면적(WUA)을 산정하여 비교・분석하였으며 분석결과 가중가용면적(WUA)값의 분포가 성어기, 산란기에서 선형(linear)으로 잘 표현되었다.

핵심용어 : PHABSIM, River2D, 가중가용면적(WUA)

1. 서론

강과 하천의 서식처 평가는 유량의 기능으로써 연구될 수 있는 종(species)에 대한 서식 생물의 양을 추정하는 중요한 도구가 되었다. 이러한 서식처 평가는 강과 하천에서 나타나는 물리적, 화학적, 생물학적 요인들에 기초한 서식처 효용성의 추정을 제공한다. 물리적 변수는 특정한 유량에서 어떤 종에 대한 서식처를 정

* 정회원・공주대학교 건설환경공학부 교수・E-mail : smjeong@kongju.ac.kr
** 정회원・중부대학교 사회기반시스템공학과 교수・E-mail : leejh@joongbu.ac.kr
*** 정회원・공주대학교 건설환경공학과 석사과정・E-mail : grami99@kongju.ac.kr

량화하기 위해 사용되어 진다. 또한 생물학적 연구는 물리적 변수의 한 가지 기능으로써, 서식처 적합도 지수를 선정하기 위하여 연구되어 왔다. 수리적 변수의 기능으로써 어류 서식처는 두 가지 물리적 서식처모델을 사용하여 표현되어 진다.

두 가지 형태의 모델은 1차원 서식처 모델과 2차원 서식처 모델이다. 연구는 한강의 대표어종인 피라미의 성어기와 산란기의 성장단계를 분류하여 서식처를 분석하였다. 1차원 서식처 분석은 한강수계의 주요지천에서 60m에 걸쳐 5개 지류에서 수행되었다. 각 연구 지류에서 서식처를 평가하기 위해 얻어진 물리적 변수는 수심, 유속 그리고 하상의 특성이다. 모델은 다섯 가지 유량의 형태에서 조사된 수면고를 이용하여 측정된다. River 2D분석에서 수심과 유속만이 사용되기 때문에 하상의 특성은 서식처 분석에서 무시된다.

2. 연구지점

본 연구에서의 대상지점은 비교적 장기간에 걸쳐 수문 관측이 이루어져 수문자료의 신뢰성이 높고, 자료의 확보가 용이한 지점을 선정하였다. 현장조사에서는 수자원 및 어류생태전문가와 함께 현장답사 및 측정을 통해 대상 지류구간 5개지점(안양, 경안, 문막, 달천, 평창)등의 하천 종・횡단측량 및 유량(수심, 유속), 수위, 하상재료 등을 조사하였다. 대상구간의 특징은 다음과 같다.

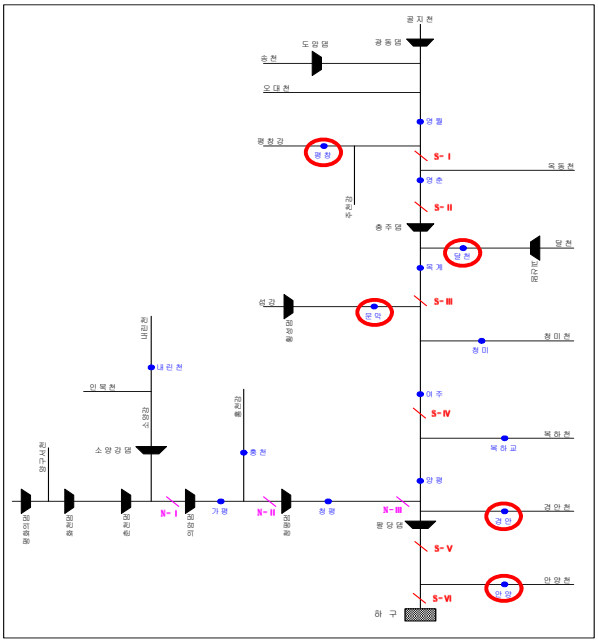


그림 1 연구 대표지점

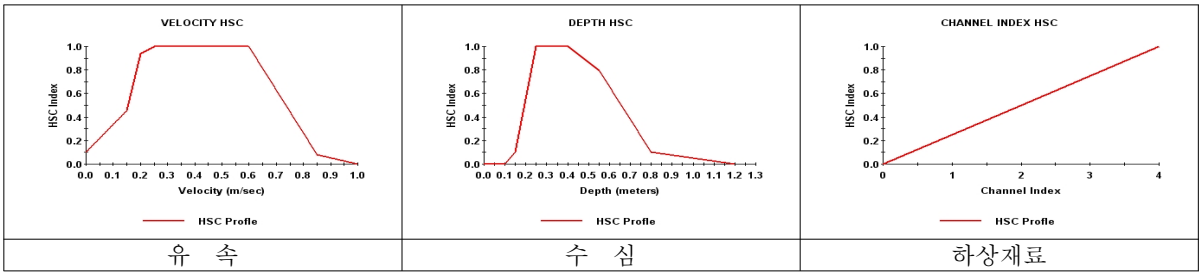
표 1 대상구간의 특징

하 천 명	수량	유속	하상재료	어류상
안양천	풍 부	대략 0.1m/s 이상	호박돌 및 자갈	피라미, 갈겨니, 붕어, 미꾸라지가 대표어종으로 출현
경안천	비교적 풍부	대략 0.12m/s 이상	모래 및 자갈	피라미가 우점율이 매우 높음
섬 강	비교적 풍부	대략 0.54m/s 이상	모래 및 작은 자갈	피라미와 묵납자루 우점율 매우 높음
달 천	비교적 풍부	대략 0.42m/s 이상	굵은 자갈이 많으며 자갈이 주를 이룸	여울이 뚜렷하게 형성되어 있으며 피라미와 묵납자루 어종이 서식
평창강	풍 부	대략 0.37m/s 이상	잔자갈과 자갈	여울이 뚜렷하게 형성되어 있으며 피라미와 묵납자루 어종이 서식

3. 연구방법

3.1 서식처 적합도 곡선과 가중가용면적

데이터 모델에 대해서 수심과 유속 적합도 지수곡선을 이용하여 물리적 서식처를 정량화 하였다. 적합도 지수의 범위는 0에서부터 최적 적합도인 1까지의 범위이다. 그 사이의 값은 수심과 유속과 같은 수리적 변수에 따른 적당한 범위를 나타낸다. 피라미의 성어기에 대한 유속, 수심과 하상재료 적합도 곡선은 그림 2에 제시되어 있다. 본 연구에서는 서식처 적합도 지수(Habitat Suitability criteria)는 낙동강 수계에서 작성된 결과를 이용하였다. 가중가용면적(WUA)은 특정구역(cell)의 면적에 조합 적합도 지수를 곱함으로써 WUA가 계산된다. WUA는 특정 위치에서 서식처에 대한 상대적인 단위이며 여러 가지 유량에서 특정 위치에서의 상대적인 변화를 나타내는데 사용된다.



유 속	수 심	하상재료

그림 2 서식처 적합도 곡선

3.2 PHABSIM

PHABSIM은 하천에서 수심과 유속을 사용하여 여러 가지 유량에 대한 수리적 관계를 모의한다. PHABSIM은 수심, 유속 그리고 유량을 사용하여 특정 어종에 대한 적합도와 함께 수심, 유속 그리고 하상에 대한 관계를 정량화 한다. 그리고 여러 가지 유량에 대한 동일한 물리적 서식처 변수(수심, 유속, 하상데이터)를 추정한다. 수리적 결과는 수심&유속 적합도 곡선을 적용하여 적합도로 전환된다. PHABSIM모델에 대한 구역의 크기(cell size)는 현재 횡단면에서 다음횡단면까지 거리를 반으로 나눈 거리이고 폭은 같다. PHABSIM 모델에서 WUA는 구역 크기(cell size)에 조합 적합도 지수를 곱함으로써 계산된다. PHABSIM의 구역 크기(cell size)에서 WUA의 계산은 다음 횡단면에 삽입된 각 횡단면의 균일 가정 때문에 넓어진다. River 2D는 수심과 유속 두 가지의 변수만 사용되기 때문에 본 연구의 목적인 비교를 하기위해 1차원 모델에서도 두 가지의 변수만 사용하였다.

각 횡단면은 60m의 연구 구간을 잘 표현하는 웅덩이와 여울, 급물살(pool, riffle, run)의 기능을 가진 물리적 서식처를 표현하기 위해 선택되었다. 횡단면과의 거리는 30m로 한 구간에 3개의 횡단면이 있게 되며 도보와 육안에 의해 조사되었다.

3.3 River2D

River2D는 x, y축의 운동량보존과 질량보존의 개념을 사용하여 정류상태의 문제를 해결한다. 이 모델의 결과는 각 결점의 수평방향에서 하나의 수심과 두 개의 유속을 제공한다. R2D_Bed에 데이터를 입력하여 하상 파일(bed topography file)이 만들어 진다. 유한 요소망은(finite element mesh)R2D_Mesh에 R2D_Bed 파일을 삽입함으로써 얻을 수 있으며 하류 유출과 상류 수면고에 대한 경계조건을 설정해준다. 유한 요소망이 만들어지면 River 2D는 수리시스템을 만들기 위해 평균수심화 된 모델을 생성한다.

표 2는 동일한 지점에 대한 유량별 1차원-2차원의 WUA 결과를 비교한 것이다.

표 2. 1차원과 2차원 서식처 모델의 결과(10cms)

대상 지점	PHABSIM WUA(m^2)		RMA-2 WUA(m^2)		%Difference PHABSIM ws. RMA-2	
	성어기	산란기	성어기	산란기	성어기	산란기
경 안	3942	4032	3740	3824	+5%	+5%
달 천	2598	2882	2128	2501	+22%	+15%
안 양	1164	1327	1335	1430	-15%	-7%
평 창	1227	1360	774	1269	+59%	+7%
문 막	4787	5131	3252	4670	+47%	+10%

그림 3, 4는 성장단계별 10cms에서 한강수계에 위치한 5개 주요 대상지점에 대한 1차원-2차원 WUA값을 비교한 것이다.

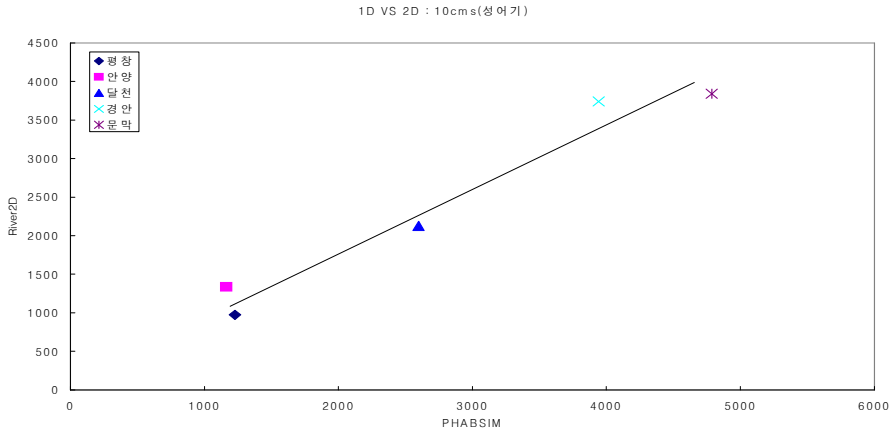


그림 3 1D와 2D 서식처 모형의 가중가용면적의 데이터 비교(성어기)

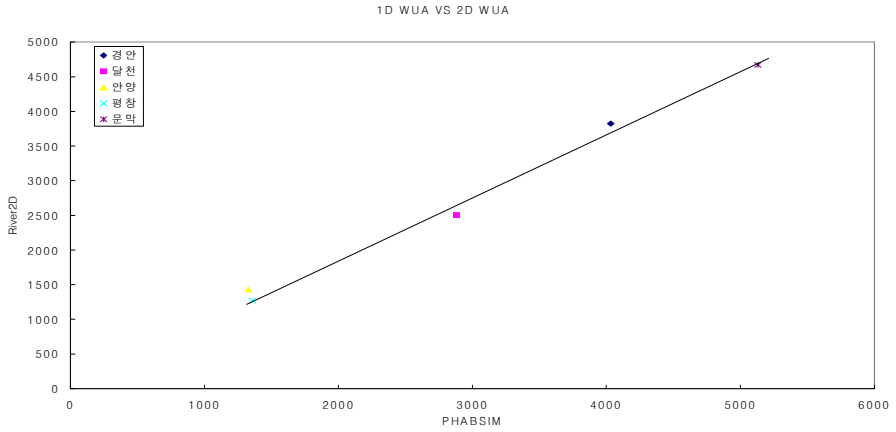


그림 4 1D와 2D 서식처 모형의 가중가용면적의 데이터 비교(산란기)

그림 5와 6은 10cms에서 피라미의 WUA값과 유속, 수위를 평창지점에 대한 1차원-2차원 모델 결과를 나타낸 것이다.

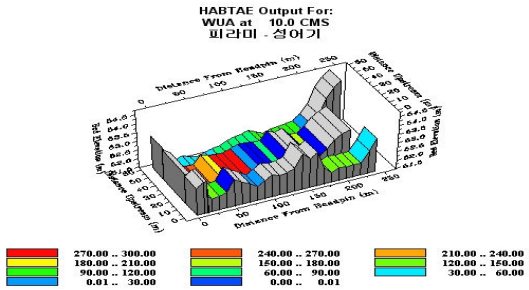


그림 5. PHABSIM을 이용한 각 Cell 별 WUA

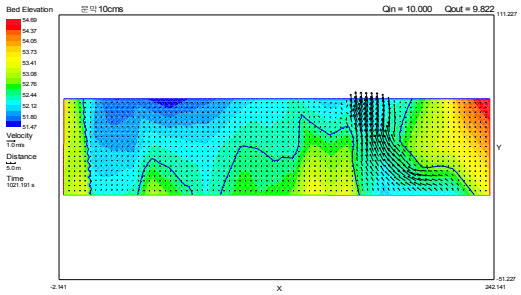


그림 6. River2D 프로그램 구동 결과

4. 연구결과

두 모형의 WUA에 대한 결과는 상관성이 있다는 것을 보여준다. PHABSIM모델의 결과는 River2D모델의 결과보다 일관적으로 크게 계산되었다. 각 지점에 대한 WUA는 표에 백분율과 함께 비교 제시하였다. 표 2에서 보듯이 PHABSIM 모델의 결과는 River2D모델의 결과보다 일관적으로 크게 나타난다. River2D와 비교하여 PHABSIM의 큰 WUA는 안양지점을 제외하고는 선형관계를 보인다(그림 3, 4). 이러한 선형적인 경향(linear trend)은 한강수계의 주요 지류에서 RIver2D에 의한 WUA의 계산이 PHABSIM 모델에 의해서 이루어 질 수 있다는 것을 보여준다.

PHABSIM모델의 WUA가 River2D모델과 비교하여 차이가 나타나는 것은 1차원과 2차원 분석에서 각 단면의 수(밀도)는 같지만 단면간에 삽입된 River2D모델의 정밀도는 PHABSIM에 의해 삽입된 것보다 크다. 본 연구에서는 두 가지 모델 모두 60m에 3단면을 사용하였다. WUA의 차이에 기여한 요인은 조합적합도 지수에 적용된 두 모델의 구역크기(Cell Size)이다. 2차원 모델의 작은 구역 크기는 1차원과 비교했을 때 공간적인 정확성을 상당히 증가시킨다.

5. 결론

어류에 대한 수리서식처 이용성 모델링은 어류의 건강에 대한 영향과 관리단계를 평가하기 위해 널리 사용되어져 왔다. 효과적인 모델은 수리적 변수의 기능으로써 정확한 WUA를 산정할 수 있는 것이어야 한다. 1차원모델과 비교하여 2차원 모델의 개발은 상당한 비용과 시간이 요구된다. 1차원 서식처 모델인 PAHBSIM은 여러 지점과 비교하였을 때 River2D의 WUA 백분율 차이에서 작은 변화를 보인다. 이것은 만약 WUA의 상대적인 변화를 평가한다면 1차원 모델과 2차원 모델은 WUA를 모델링함에 있어 똑같이 효과적이라는 것을 나타낸다.

만약 WUA의 공간적인 분석이 이루어진다면 PHABSIM은 River2D처럼 효과적이지 못하다. 두 모델에서 WUA를 예측하는데 사용될 수 있는 선형관계에 의하여 두 모델의 결과에 대한 차이를 관계시킬 수 있다. 본 연구에서는 한 지점을 제외하고는 PHABSIM과 River2D모델이 여러 지점에서 WUA 백분율 차이가 크게 차이나지 않다는 것을 보여준다.

참고문헌

1. 한국수자원공사(1995). 하천유지유량 결정방법의 개발 및 적용
2. John Loranger & Scott Kenner(2004). Comparison of One- and Two-Dimensional Hydraulic Habitat Models For Simulation of Trout Stream Habitat
3. R.W.Jay Lacey and Robert G.Millar(2004). Reach Scale Hydraulic Assessment of Instream Salmonid Habitat Restoration
4. R.A.Mussetter, c.G. Wolff, M.R. Peters, C.B. Thomas, D. Grochowski(2004). Two-Dimensional Hydrodynamic Modeling of the Rio Grande to Support Fishery Habitat Investigations