

1차원 및 2차원 물리서식처 모의를 이용한 어류서식조건 유지에 필요한 최적유량 산정 - 피라미를 대상으로 -

Estimation of Optimum Flow Needed for Fish Habitat by Application of One and Two Dimensional Physical Habitat Simulation Model - Focused on Zacco Platypus -

오국열* · 정상만** · 이주현*** · 최계운**** · 김도희*****

Oh, KukRyul · Jeong, SangMan · Lee, JooHeon · Choi, GyeWoon · Kim, DoHee

Abstract

In this study, PHABSIM which is a sample for 1D physical habitat and River2D, which is a sample for 2D physical habitat were applied to the main streams of Han River in order to calculate an optimum flow considering the habitats of fishes in determining the instream flow. Moreover, the Weighted Usable Area (WUA) of the two samples in each growth step (adults and spawning) of the target fish type was compared and reviewed. The optimal flow value was calculated by considering the conditions for inhabiting fishes. As a result of the correlation analysis for WUA from 1D and 2D samples was 0.87 to 0.99. The optimum flow considering the conditions of inhabiting fishes showed insignificant difference of 3 m³/s to 5 m³/s with the exception of adults in Moon-Mak and spawning in Dal-Chun.

key words : PHABSIM, River2D, Instream Flow, Fish Habitat

요 지

본 연구에서는 하천의 유지유량을 결정함에 있어서 어류의 서식처를 고려한 최적의 유량을 산정하기 위하여 한강수계의 주요 지천에 1차원 물리서식처 모의 모형인 PHABSIM과 2차원 물리서식처 모의 모형인 River2D를 적용하였다. 또한 대상어종의 성장단계별(성어기·산란기) 두 모형의 가중가용면적(WUA)에 대하여 비교검토했으며 어류서식조건을 고려한 최적유량 값을 산정하였다. 모의결과 1차원 모형과 2차원 모형에서 가중가용면적(WUA)의 상관분석 결과 0.87~0.99로 분석되었고 어류서식조건을 고려한 최적유량 역시 문막 지점의 성어기와 달천지점의 산란기를 제외하고 3 m³/s~5 m³/s의 차이로 큰 차이를 보이지 않았다.

핵심용어 : PHABSIM, River2D, 유지유량, 어류서식처

1. 서 론

최근 하천 생태계의 보존에 대한 국민들의 인식이 높아지면서 하천 생태계의 중심이 되는 어류 서식처에 대한 관심이 커지고 있다. 하천의 유지유량을 결정함에 있어 국내외적으로 한국수자원공사 (1995), 우효섭 등(1998), Loar 등(1981), Gore 등(1989)은 경험적인 방법으로 유향 곡선을 이용하여 특정 추천유량을 설정하였고, 김규호 등(1996a), 김규호 등(1996b)은 물고기 서식처 환경 중 수심과 유속 등 수리조건

을 유지하기 위한 최소유량 산정방법을 제시하였다. 또한 김규호 (1999), 김규호 (2000), 이주현 등(2006)은 어류 서식 환경을 평가하기 위해 점중 유량 방법론의 1차원 물리적 서식처 모의 시스템인 PHABSIM을 적용한 연구를 하였다. 또한 강정훈 등(2004)은 PHABSIM을 적용하여 최적유량을 산정하였으며 서식처 평가에 요구되는 수리인자의 모의를 위해 2차원 동수역학적 모형(RMA-2)을 이용하였다.

한편 국외에서는 다양하게 변하는 서식처에서 보다 정확한 수심과 유속을 모의하기 위해 2차원 수리모형이 개발되어 이

*공주대학교 대학원 건설환경공학과 석사과정 (E-mail: kroh@kongju.ac.kr)
**정회원 · 교신저자 · 공주대학교 공과대학 건설환경공학부 교수
***정회원 · 중부대학교 공과대학 사회기반시스템공학과 부교수
****정회원 · 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 교수
***** (주)원건측사사무소 수자원부 사원

를 적용한 연구가 진행되고 있다. Crowder(2000)는 2차원 모형을 이용하여 생태학적 서식 규모에 관한 연구를 토대로 서식환경에 대해 분석하였고, Lacey(2004)는 River2D 모형을 이용해서 송어 서식처 해석을 홍수전과 홍수후로 구분하여 유속과 수심을 비교하여 추천유량을 제시하였다.

본 연구에서는 하천의 생태학적 추천유량을 산정함에 있어 어류의 미시서식처를 고려한 최적의 유량을 산정하기 위하여 1차원 물리서식처 모의 모형인 PHABSIM과 공간적으로 보다 섬세한 수리적 분석을 위해 최근에 국외에서 사용되어지고 있는 2차원 물리서식처 모의 모형인 River2D를 적용하여 기존의 2차원 해석방법인 RMA-2 모형을 거치지 않고 기중 가용면적(Weight Usable Area)-유량 관계 곡선의 도출을 통하여 최적유량 산정시 중요한 지표인 WUA의 산정결과와 최적유량 산정결과를 1차원 모형과 2차원 모형의 비교를 통하여 제시하고 두 모형을 동일한 하천에 모의함으로써 2차원 모형인 River2D에 대한 실용성을 분석하고자 한다.

대상어종으로는 한강유역조사 보고서(건설교통부, 한국수자원공사, 2004)를 참고하여 한강의 우점종인 피라미를 선정하였으며, 피라미의 성어기와 산란기의 성장단계를 분류하여 한강수계의 지류구간인 5개 지점(안양, 경안, 문막, 달천, 평창)의 60 m 구간에 대하여 서식처 분석을 실시하였다.

2. 연구대상지점 및 모형소개

2.1 연구대상지점

본 연구에서는 한강의 지류구간인 5개 지점(안양, 경안, 문막, 달천, 평창)을 연구 대상지점으로 선정하였고 Fig. 1에 나타내었다. 또한 이들 지점의 하상은 어류의 휴식과 은신처

제공의 조건이 되는 하상재료로 구성되어 있으며 각 지점별 특성은 Table 1에 제시하였다.

2.2 서식처 모의 모형

연구대상 구간에 어류의 서식처를 고려한 최적 유량을 산정하고자 적용된 1차원 및 2차원 모형은 각각 PHABSIM과 River2D이다. PHABSIM과 River2D에서 어류 서식처를 위한 최적조건의 결정은 수리학적 모형과 서식처 적합도 지수의 결합을 통해 얻어지는 WUA-유량 관계곡선을 통해 최적의 유량을 산정하는 것으로 이루어진다.

2.2.1 서식처 적합도 기준(Habitat Suitability Criteria)

본 연구에서 사용된 PHABSIM과 River2D의 구동에 필요한 서식처 적합도 지수(HSC)는 낙동강유역조사(건설교통부, 한국수자원공사, 2004)시 작성된 결과를 이용하였으며 Fig. 2는 대상지점의 우점종인 피라미의 성어기에 대한 유속, 수심과 하도지수의 적합도 곡선을 나타낸 것이고 Fig. 3은 산란기에 대한 적합도 곡선이다.

2.2.2 1차원 모형(PHABSIM)

PHABSIM에서는 유속과 수심의 변화를 수리학적으로 모의하기 위해 MANSQ(Modeling the Stage-Discharge Relationship Using Mannig's Equation)와 WSP(Water Surface Profile)가 연계하여 적용된다. MANSQ는 Eq. (1)과 같이 Manning's Equation을 이용하여 각 단면별, 유량별로 수위를 모의한다.

$$Q = \left[\frac{1.49}{n} \times S^{1/2} \right] \times A \times R^{2/3} \quad (1)$$

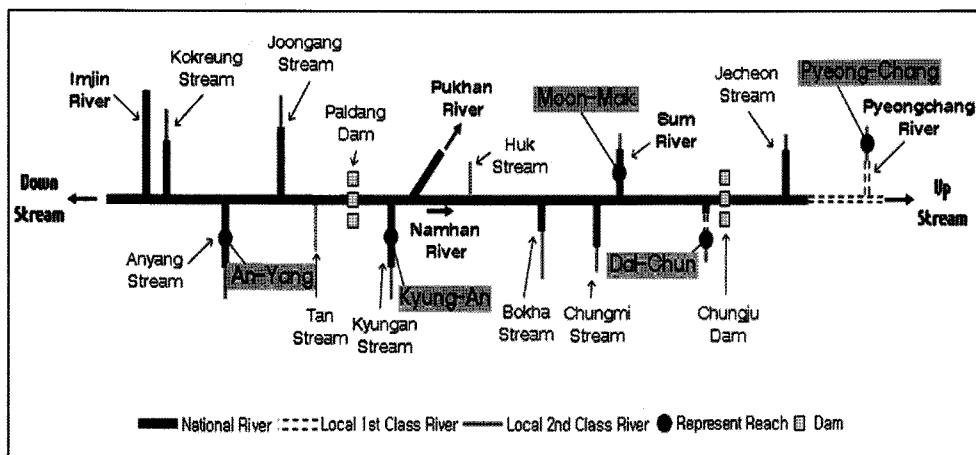


Fig. 1. Stream Network of Study Area

Fig. 1 Stream Network of Study Area

Representative Reach	River Width (m)	Bed Material
An-Yang	49 ~ 51	Very coarse gravel
Kyung-An	83 ~ 120	Sand and Medium gravel
Moon-Mak	210 ~ 226	Sand and Fine gravel
Dal-Chun	120 ~ 127	Coarse gravel
Pyeong-Chang	70 ~ 90	Coarse gravel

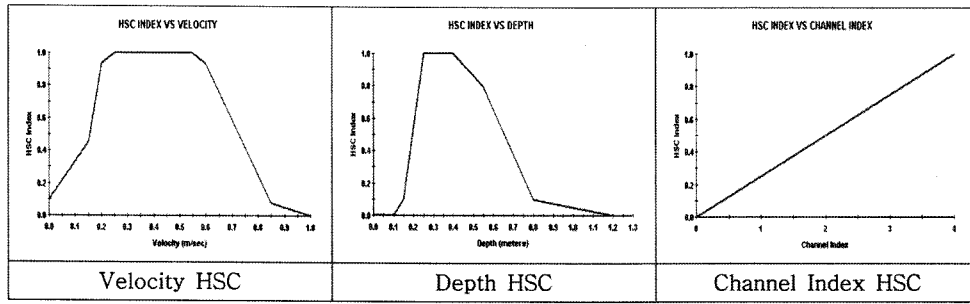


Fig. 2. Habitat Suitability Criteria (Adult)

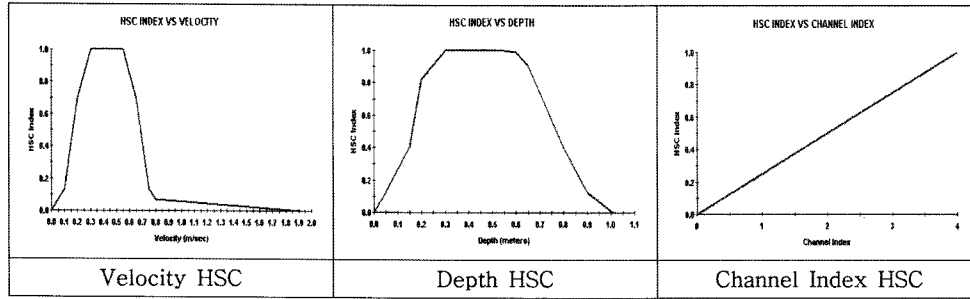


Fig. 3. Habitat Suitability Criteria (Spawning)

여기서, n = 조도계수, S = 하상경사, A = 통수단면적, R = 수리반경이다.

또한 Gordon 등(1993)은 수심, 유속 및 하도지수의 적합도 기준을 조합하여 성장단계별 복합 서식처 적합도 지수 C_i 를 산정하며, 곱셈방법, 기하평균방법, 최소치 방법 중 한가지를 선택하도록 되어있다. 본 연구에서는 모든 변수의 적합도 지수가 최적(1.0) 상태일 때만 존재하는 것을 의미하는 Eq. (2)와 같은 곱셈방법(Standard Computation)을 이용하였으며, Palmer 등(1985)이 모의하였다.

$$C_i = f(v)_i \times f(d)_i \times f(c)_i \quad (2)$$

여기서, C_i = 셀 i 의 복합 서식처 적합도 지수, v_i = 셀 i 의 유속에 대한 서식처 적합도 지수, d_i = 셀 i 의 수심에 대한 서식처 적합도 지수, c_i = 셀 i 의 하도지수에 대한 서식처 적합도 지수이다.

PHABSIM에서는 위와 같은 절차를 걸쳐 유량에 따른 수면표고와 유속의 변동을 수리학적으로 모형화하고, 서식처 적합도 곡선과 이 관계를 결합함으로써 얻어지는 WUA-유량간의 관계 곡선을 통해 어류 서식에 적합한 최적의 유량을 결정할 수 있다. 여기서 WUA는 셀 면적에 복합 서식처 적합도 지수를 곱하여 계산되고 Eq. (3)과 같다. PHABSIM에서 셀 크기(cell size)는 현재 횡단면에서 다음 횡단면까지의 거리를 반으로 나눈 거리이고 폭은 같다.

$$WUA = \sum_{i=1}^n A_i \times C_i \quad (3)$$

여기서 A_i 는 i 셀의 면적이다.

2.2.3 2차원 모형(River2D)

River2D는 수심평균한 유한요소모형을 사용한 2차원 수리

서식 모형으로 Eq. (4)와 같은 질량보존의 개념과 Eqs. (5) and (6)와 같은 x , y 축의 운동량보존의 개념을 사용하여 미시적 규모의 서식처에서 공간적으로 섬세한 수리적 분석을 할 수 있는 모형이다. 또한 Eqs. (7) and (8)은 각각 유속과 관계된 유출량이다.

Conservation of mass

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

Conservation of x-direction momentum:

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Uq_x) + \frac{\partial}{\partial y}(Vq_x) + \frac{g}{2\partial x}H^2 \\ = gH(S_{0x} - S_{fx}) + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial}{\partial x}(H\tau_{xx}) \right) + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial}{\partial y}(H\tau_{xy}) \right) \end{aligned} \quad (5)$$

Conservation of y-direction momentum:

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

$$q_x = HU \quad (7)$$

$$q_y = HV \quad (8)$$

여기서, H 는 흐름의 평균수심, U 와 V 는 각각 x 와 y 좌표에서의 평균수심 유속(Depth Averaged velocities), g 는 중력가속도, ρ 는 물의 밀도, S_{0x} 와 S_{0y} 는 x 축과 y 축의 하상경사, S_{fx} 와 S_{fy} 는 각각의 마찰경사이다. 그리고 τ_{xx} , τ_{xy} , τ_{yx} 와는 수평응력 인자를 나타낸다. 즉 River2D의 수리동역학적 모의

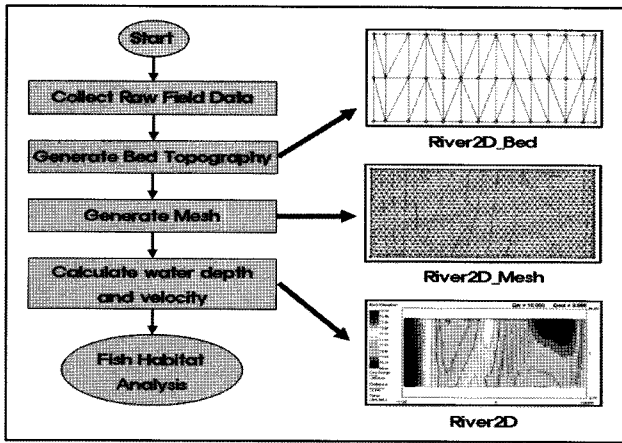


Fig. 4 River2D Modeling Process

과정은 천수방정식을 지배방정식으로 사용하고 있으며, 자연 하천에서 상류 및 사류등과 같은 모든 흐름상태의 모의가 가능하고 부정부류 모의에도 적용될수 있다.

그리고 River2D의 구성은 크게 세가지 모형으로 되어 있다. 우선 R2D_Bed는 River2D를 구동하기 위한 입력 자료로서 문서편집기로 작성된 지형파일을 입력하는 프로그램이다. 이 파일은 R2D_Mesh에서 유한요소망을 구축하기 위한 입력데이터로 볼 수 있다. 두 번째는 R2D_Mesh는 R2D_Bed에서 유한요소망을 구성하는 절점과 요소에 관한 정보를 읽어 들인다. 유한요소망은 절점(node)과 요소(element)로 구성되며, 하나의 유한요소망은 여러 개의 삼각형 또는 사각형 요소로 대상지역의 표면이라 할 수 있다. 마지막으로 River2D_Habitat 모형은 물리적서식모의시스템(PHABSIM)에서 구상되어 사용되어진 WUA의 계산방법과 동일한 개념을 사용하고 있다. WUA는 각 절점에서 평가되어지는 복합 서식처 적합도 지수(C)에 의해 계산되어진다. River2D의 수행 절차는 Fig. 4와 같다.

3. 모의결과 분석

본 연구에서는 한강의 지류구간인 5개 지점(안양, 경안, 문막, 달천, 평창)에서 어류 서식처를 고려한 최적의 유량을 산정하기 위하여 1차원 물리서식처 모의 모형인 PHABSIM과 2차원 물리서식처 모의 모형인 River2D를 적용하였다.

또한 PHABSIM에 적용한 조도계수(n)와 River2D에 적용한 roughness height(k_s)는 전체지점에 하천설계기준해설(한국수자원학회, 2005)을 참고, 소하천 잔자갈 하상에 적합한

0.040으로 적용하였다. 이것은 Waddle(1992)이 수리모의를 이용한 서식처-유량관계가 상대적으로 조도계수에 민감하지 않다는 사실을 고려하였다.

3.1 WUA 모의를 위한 셀 면적(Cell Size)의 비교

하상단면을 원시데이터 기준으로 두 모형간 셀 면적을 비교해보면 다소 차이가 난다. PHABSIM의 경우 측량 시 측선을 중심으로 셀 면적을 결정하기 때문에 임의로 조작할 수 없지만 River2D의 경우 셀 면적을 사용자 임의로 설정하여 결정할 수 있다. 즉, PHABSIM은 측량시 단면자료를 바탕으로 측선과 측선 사이를 10 m 간격으로 측정하여 셀 폭이 10 m로 균일 한 반면 River2D는 TIN(Tringular Irregular Network) 으로 생성하여 삼각망으로 셀 면적이 결정되는 차이가 있다.

본 연구에서는 두 가지 모형 모두 60 m에 30 m 간격의 3개 단면을 사용하였고 모의 결과PHABSIM에서의 평균 셀 면적은 128 m²이고 River2D의 평균 셀 면적은 6.45 m²이다.

3.2 WUA의 비교

한강의 지류구간 5개 지점에서 실측유량에 대한 피라미의 성장단계별 1차원 및 2차원 모형을 적용하여 산정된 WUA의 결과를 Table 2에 제시하였다.

그 결과 성어기에는 안양지점과 평창지점, 산란기에는 평창지점을 제외하고 1차원 모형인 PHABSIM에 의한 WUA가 2차원 모형인 River2D 보다 크게 산정되었고 두 모형 간 실측유량에 대한 각 지점별 상관분석 결정계수 R²값은 성어기

Table 2. Result of 1D and 2D Habitat Modeling

Representative Reach (Observed Discharge)	Observed Discharge Difference(%) PHABSIM WUA - River2D WUA	
	Adult	Spawning
An-Yang (0.93 m ³ /s)	-30	+18
Kyung-An (10.74 m ³ /s)	+5	+5
Moon-Mak (12.25 m ³ /s)	+47	+9
Dal-Chun (12.63 m ³ /s)	+23	+41
Pyeong-Chang (6.65 m ³ /s)	-4	-17

Table 3. Result of 1D and 2D Habitat Modeling (10 m³/s)

Representative reach	(A) PHABSIM WUA (m ³ /1,000m)		(B) River2D WUA (m ³ /1,000m)		Difference(%) [(A-B)/A]*100	
	Adult	Spawning	Adult	Spawning	Adult	Spawning
An-Yang	1,164	1,327	1,335	1,430	-15	-7
Kyung-An	3,942	4,032	3,740	3,824	+5	+5
Moon-Mak	4,787	5,131	3,252	4,670	+32	+9
Dal-Chun	2,598	2,882	2,128	2,501	+18	+13
Pyeong-Chang	1,227	1,360	774	1,269	+37	+7

(0.94)산란기(0.97)로 분석되었다.

또한 각 대상지점에서 10 m³/s의 유량이 흐를 때 피라미의 성장단계별 1차원과 2차원 모형의 WUA와 두 모형간의 차이의 백분율을 Table 3에 제시하였다.

그 결과 안양지점을 제외하고 PHABSIM이 River2D 보다 WUA가 크게 산정되지만 그 차이가 크게 나타나지 않는다는 것을 보여준다. 또한 두 모형에서 WUA를 예측하는데 사용될 수 있는 선형관계에 의하여 모형의 결과에 대한 차이를 관계시킬 수 있다. Fig. 5와 Fig. 6은 10 m³/s의 유량이 흐를 때 피라미의 성장단계별 상관분석 결과이다.

그 결과 R²값은 성어기(0.87), 산란기(0.99)로 분석되었다. Fig. 7 과 Fig. 8은 10 m³/s의 유량에서 피라미의 각 셀별 WUA를 1차원과 2차원 모형에 적용하여 그 결과를 시각적으로 나타낸 것이다.

PHABSIM 모형의 WUA는 안양지점을 제외하고 River2D

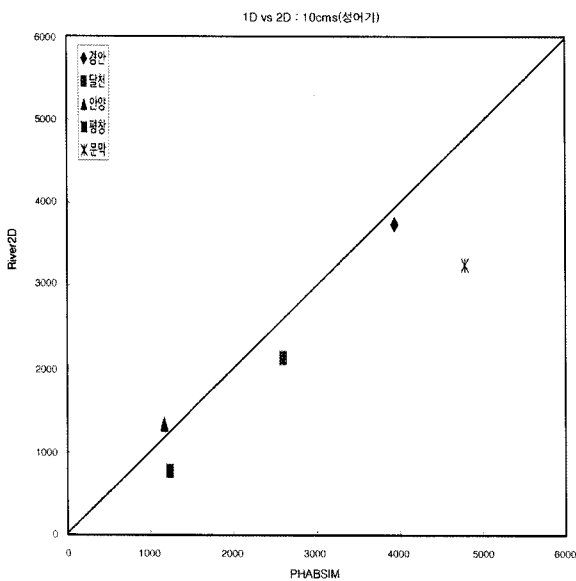


Fig. 5 Comparison WUA between 1D and 2D Habitat Models (Adult)

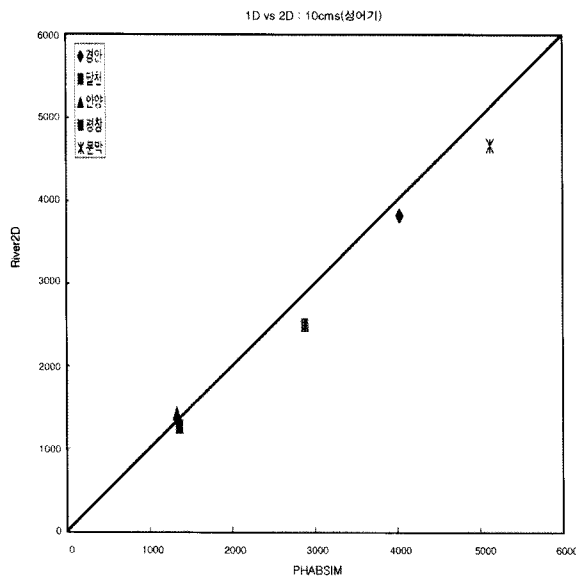


Fig. 6 Comparison WUA between 1D and 2D Habitat Models (Spawning)

모형의 계산치보다 일관적으로 크게 계산되었다. PHABSIM에서 WUA가 크게 산정되는 이유는 여러 가지 이유가 있겠으나 그중에 궁극적인 이유는 셀 면적에서 기인한다고 볼 수 있다. 즉 단면이 급격히 변하는 지점에 대해서는 PHABSIM에서는 정확한 모의가 불가능하고 River2D에서는 보다 세밀한 셀 면적을 통해 정확한 모의가 가능하기 때문이다. 그래서 임의로 단면변화(단면2에 50 cm 정도의 웅덩이 생성)를 주어 분석하였다. 예시지점은 경안지점으로 선정하였다. 경안지점 선정이유는 두 모형간의 WUA의 차이가 다른 지점보다 작아 웅덩이(Pool)에 의한 WUA 비교에 적절한 지점으로 판단되었기 때문이다. 경안지점의 3개의 단면 중 두 번째 단면에 웅덩이(Pool)를 생성하여 기존 단면과 변화단면을 비교하여 Fig. 9와 같이 나타내었다.

위의 그림과 같이 단면변화를 주어 PHABSIM과 River2D의 차이의 백분율을 Table 4에 제시하였다. 그 결과 기존의 연구결과와 상반되는 결과를 얻게 되었다.

변화전 WUA의 차이가 성어기(+5%), 산란기(+5%)로 PHABSIM에서 크게 산정되었으나, 변화후 WUA가 성어기(-21%), 산란기(-34%)로 River2D에서 더 높은 값을 보였다. 이것은 웅덩이(Pool)를 PHABSIM에서는 과소산정하고 River2D에서는 작은 셀 면적에 대해 웅덩이를 계산하여 WUA가 크게 산정되었기 때문이다. 또한 PHABSIM에서는 셀 면적이 넓게 계산되어져 하상변화가 있음에도 불구하고 평균 수심으로 계산되어지기 때문이고 반면에 River2D에서는 좁은 셀 면적으로 계산되어져 하상변화에 대해 더 자세하게 분석되어지기 때문이다.

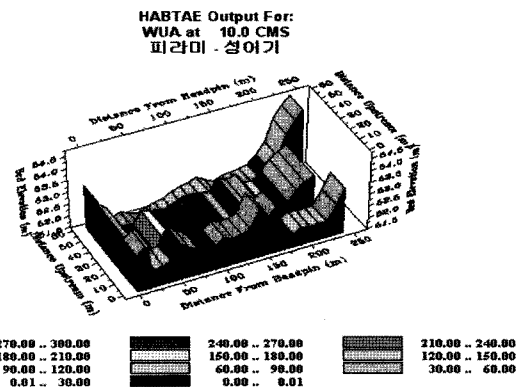


Fig. 7 WUA by PHABSIM

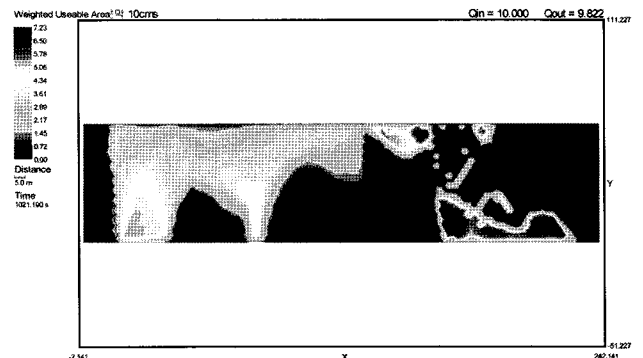


Fig. 8 WUA by River2D

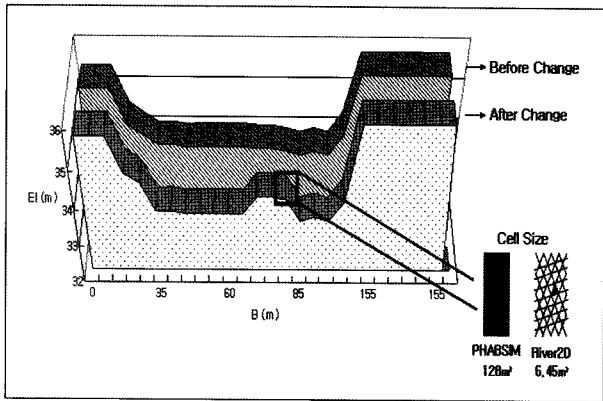


Fig. 9 Comparison between Original Cross Section and Changes Cross Section

Table 4. Result of 1D and 2D Habitat Modeling (Changed Cross Section)

Difference(%) PHABSIM WUA - River2D WUA			
Before Change		After Change	
Adult	Spawning	Adult	Spawning
+5	+5	-21	-34

Fig. 10 과 Fig. 12는 PHABSIM에서의 단면변화 전후 WUA를 시각적으로 나타낸 것으로 단면2의 전횡단면에 대해 가중가용면적 값이 크게 산정되었고 Fig. 11 과 Fig. 13 은 River2D에서 단면변화 전후 WUA를 시각적으로 나타낸 것으로 전체 면적에 고루 높은 WUA가 분포되어있다. 또한 두 모형상의 시각적인 차이는 셀면적(Cell Size)에 따른 범례의 차이에도 있다. 1차원 모형(PHABSIM)의 셀 면적은 128 m² 이고 범례는 0~150, 2차원 모형(River2D)은 6.45 m²이고 범례는 0~7.18이다. 위와 같은 결과로 PHABSIM보다 River2D에서 공간적으로 보다 정확한 결과를 보임을 알수있다.

3.3 어류의 성장단계별 WUA 및 최적유량

1차원 모형과 2차원 모형의 어류 성장단계별 WUA 및 최적유량을 비교한 결과 WUA는 1차원 모형이 2차원 모형보다 안양지점을 제외하고 크게 산정되었다. 그리고 최적유량은 문막지점의 성어기와 달천지점의 산란기를 제외하고 3 m³/s~5 m³/s의 차이로 큰 차이를 보이지 않았다. 그 결과는 Table 5에 제시하였다.

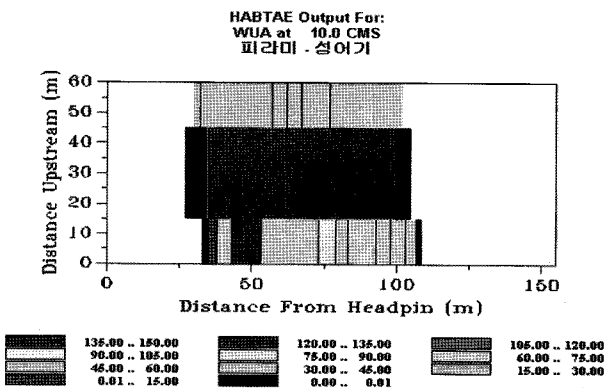


Fig. 10 1D WUA (Adult)

4. 결 론

본 연구에서는 1차원 물리식처 모의 모형인 PHABSIM 과 2차원 물리식처 모의 모형인 River2D를 한강의 지류구간인 5개 지점(안양, 경안, 문막, 달천, 평창)에 적용하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) River2D와 PHABSIM 두 모형의 각 지점에 대한 WUA는 실측유량과 10 m³/s의 유량일때를 비교 제시하였다. 그 결과 안양지점을 제외하고는 PHABSIM에서 WUA가 크게 산정되었다. 그러나 상관분석 결과 실측유량시 성어기(0.94)산란기(0.97)로 분석되었고 10 m³/s의 유량시 성어기(0.87)산란기(0.99)로 결정계수(R²)가 크게 차이가 나지 않아 두 모형 사이에 상관성이 있는

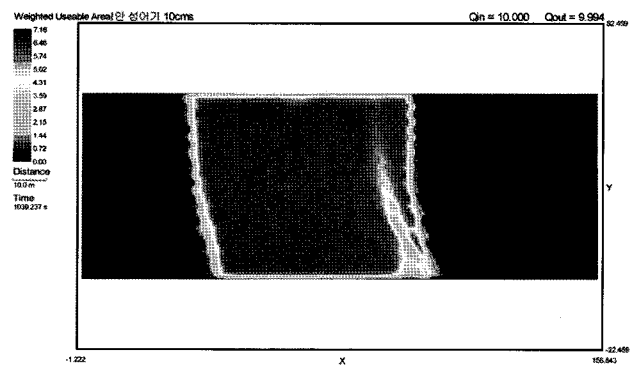


Fig. 11 2D WUA (Adult)

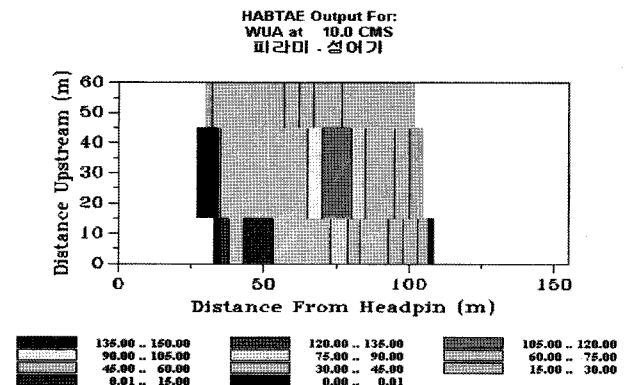


Fig. 12 1D WUA of the Pool (Adult)

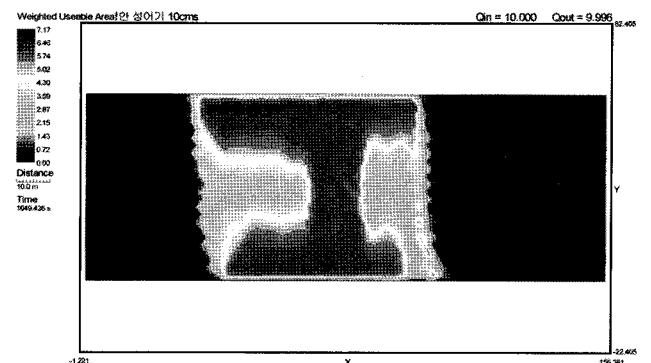


Fig. 13 2D WUA of the Pool (Adult)

Table 5. Comparison between Optimum Flow and WUA Results for Two Models

Representative Reach	Growth Step	PHABSIM		River2D	
		WUA (m ³ /1,000 m)	Optimum Flow (m ³ /s)	WUA (m ³ /1,000 m)	Optimum Flow (m ³ /s)
An-Yang	Adult	1,164	10	1,362	7
	Spawning	1,327	10	1,492	7
Kyung-An	Adult	3,944	11	3,765	12
	Spawning	4,106	17	3,845	12
Moon-Mak	Adult	6,593	29	4,781	55
	Spawning	6,898	50	6,296	55
Dal-Chun	Adult	3,263	30	2,504	35
	Spawning	3,646	25	3,052	40
Pyeong-Chang	Adult	2,320	27	2,129	27
	Spawning	2,291	26	2,156	30

것으로 나타났다.

- (2) 1차원과 2차원 물리서식처 모의 모형을 각 성장단계별 가중가용면적을 통하여 어류서식조건을 고려한 최적유량을 비교·분석해 보았다. 그 결과 어류서식조건을 고려한 최적유량은 문막 지점의 성어기와 달천지점의 산란기를 제외하고 3 m³/s~5 m³/s의 차이로 큰 차이를 보이지 않았다.
- (3) 2차원 모형과 1차원 모형의 결과를 비교해 보면 2차원 모형이 단면의 급격한 변화(웅덩이)를 더 잘 표현함으로써 보다 정확한 모의가 가능한 것으로 판단된다. 그 이유는 1차원에서 실제 계산되어지는 셀 면적(128 m²)과 2차원에서 계산되어지는 셀 면적(6.45 m²)의 차이에 기인한 것으로 사료된다.

본 연구에서 두 모형 사이의 WUA차이가 작다는 것은 본 류구간과 같은 수심이 깊은 곳을 모의할때 2차원 모형인 RMA-2에서 유속모의 과정을 거친 후 다시 PHABSIM에서 1차원 해석을 통해 WUA를 계산해야하는 기존의 방법에서 벗어나 보다 정확하고 번거로움 없이 직접 River2D에서 손쉽게 어류서식처를 고려한 최적유량을 산정할 수 있을 것이다. 따라서 향후 하천의 생태학적 유지유량 결정시 어류서식처를 고려한 최적유량을 산정할 때 River2D를 유용하게 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

강정훈, 이은태, 이주현, 이도훈 (2004) 어류서식처 조건을 고려한 하천의 필요유량 산정에 관한 연구. **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제37권, 제11호, pp. 915-927.
 건설교통부, 한국수자원공사 (2004a) **낙동강유역조사 보고서**. 건설교통부.
 건설교통부, 한국수자원공사 (2004b) **한강유역조사 보고서**. 건설교통부.
 김규호 (1999) 하천 어류 서식 환경의 평가와 최적유량 산정, **박사학위논문**, 연세대학교. pp. 4-6, 25-35, 77-83.
 김규호 (2000) 하천 어류 서식 환경의 평가. **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, Vol. 033, pp. 10-23.
 김규호, 김선미, 이삼희, 우효섭 (1996) 하천유지유량 결정 방법

의 개발 및 적용 : 적용 및 결과. 96년 **한국수자원학회 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 161-176.
 김규호, 이진원, 홍일표, 우효섭 (1996) 하천유지유량 결정 방법의 개발 및 적용 : 산정방법. **한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회**, 제29권, 제5호, pp. 185-202.
 우효섭, 이진원, 김규호 (1998) 물고기 서식처를 고려한 하천유지유량 결정방법의 개발-금강분류에의 적용. **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제18권, 제II-4호, pp. 339-350.
 이주현, 정상만, 이명호, 이용수 (2006) 유지유량 증분 방법론(IFIM)에 의한 한강수계 주요 지류에서의 어류서식 필요유량 산정. **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제26권, 제2B호, pp. 153-160.
 한국수자원공사 (1995) 하천유지유량 결정 방법의 개발 및 적용. **한국수자원공사조사계획처 IPD-95-2 연구보고서**, pp. 127-140, 196-214, 414-434.
 한국수자원학회 (2005) **하천설계기준·해설**.
 D. W. Crowder (2000) Using Two-Dimensional Hydrodynamic Models at Scales of Ecological Importance. **Journal of Hydrology**, 230(2000), pp. 172-191.
 Gordon, N. D., T. A. McMahon, and B. L. Finlason (1993) **Stream Hydrology : An Introduction for Ecologists**, John Wiley & Sons, New York, NY.
 Gore, J. A. and G. E. Petts (1989) **Alternatives in Regulated River Management**. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
 Loar, J. M. and M. J. Sale (1981) **Analysis of Environmental Issues Related to Small-Scale Hydroelectric Development : V. Instream Flow Needs for Fishery Resources**. ORNL/TM-7861, Oak Ridge National Laboratory for the U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee. pp. 123.
 Palmer, R. N. and R. M. Snyder (1985) Effects of instream flow requirements on water supply reliability. **Water Resources Research**, Vol. 21, No. 4, pp. 439-446.
 Peter Steffler and Julia Blackburn (2002) **Two-Dimensional Depth Averaged Model of River Hydrodynamics and Fish Habitat**. Introduction to Depth Averaged Modeling and User's Manual, University of Alberta.
 R. W. Jay Lacey (2004) Reach Scale Hydraulic Assessment of Instream Salmonid Habitat Restoration. **Journal of the American Water Resources Association(JAWRA)**, Paper No. 01214.
 Waddle, T. (1992) **A Method for Instream Flow Water Management**, Ph. D. dissertation, Colorado State University, Fort Collins Colorado.

◎ 논문접수일 : 2007년 12월 10일
 ◎ 심사요청일 : 2007년 12월 10일
 ◎ 심사완료일 : 2008년 01월 09일