

2차원 부정류 모형을 이용한 댐 하류 하천에서의  
어류 물리서식처 영향 분석  
Analysis of the impact of dam on  
downstream fish habitat using two-dimensional unsteady flow model

김승기\*, 최성욱\*\*  
Seung Ki Kim, Sung-Uk Choi

요 지

댐의 발전방류는 댐 하류의 하천에 비정상성이 큰 흐름을 발생시킨다. 이와 같은 흐름은 하류 하천의 수심 및 유속 조건을 급격하게 변화시키게 되어 어류 물리서식처에 큰 영향을 끼치게 된다. 또한 갑작스런 유량의 상승은 어류를 하류로 강제로 이동시키며, 빠른 수위의 하강은 어류를 하안에 고립되게 하여 죽음을 초래하게 된다. 발전방류가 어류 물리서식처에 미치는 영향을 평가한 기존의 연구는 대부분 흐름계산을 위하여 준정류 모형을 사용하였다. 하지만 준정류 모형은 발전방류와 같은 비정상성이 큰 흐름에 대하여 적절히 모의하지 못하는 한계가 있다.

본 연구의 목적은 2차원 부정류 모의가 가능한 River2D 모형을 이용하여 댐 하류 하천에서의 발전방류가 어류 물리서식처에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 연구 대상지역은 괴산댐 하류 지점인 수전교부터 대수보까지 2.3 km 구간이다. 서식처모형은 피라미에 대한 HSI 모형을 사용하였다. 복합서식처 적합도 지수, 하상전단응력을 모의하였으며 소와 여울의 지형조건에서 발전방류가 위의 인자들에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 또한 발전방류량이 발생하였을 때 기저유량의 조건에 따라 어류 물리서식처에 미치는 영향에 대하여 분석하였다.

**핵심용어:** 발전방류, 물리서식처, 부정류 모형, 댐 하류, 비정상성

1. 서 론

댐의 건설은 하류 하천의 유황의 변화를 초래한다. 댐의 저수효과는 하류하천의 큰 홍수량의 발생을 예방할 수 있지만, 발전을 위한 댐의 방류는 하류에 비정상성이 큰 흐름을 빈번하게 발생시킨다. 또한 상류로부터 유입되는 유사 공급을 차단하여 하천의 하상재료의 구성을 변화시키며, 회유성 어종의 이동을 막는 등 하천의 생태계에 미치는 영향이 매우 크다.

1980년대 미국 지질조사국 (USGS)에서 PHABSIM (Physical HABitat SIMulation system)모형이 개발되었으며 (Bovee, 1982; Milhaus et al., 1989), 이를 이용하여 댐건설이 어류의 물리서식처에 미치는 영향을 정량적으로 분석하는 연구가 활발하게 수행되어져 왔다 (Bowen et al. 1988; Valentine et al., 1996; Gore and Hamilton, 1996). 또한 PHABSIM 외에 CASiMiR (Computer Aided Simulation System for Instream Flow Requirements), EVHA (Evaluation of Habitat) ,

\* 연세대학교 공과대학 토목환경공학과 박사과정 · E-mail : [seunggi@yonsei.ac.kr](mailto:seunggi@yonsei.ac.kr)

\*\* 정회원 · 연세대학교 공과대학 토목환경공학과 교수 · E-mail : [schoi@yonsei.ac.kr](mailto:schoi@yonsei.ac.kr)

RHYHABSIM (River Hydraulics and Habitat Simulation) 등의 물리서식처 모형이 제시되어 어류 물리서식처 평가에 널리 사용되어져 왔다. 하지만 기존의 모형들을 이용한 연구들은 흐름해석에 준정류의 가정을 적용하여 실시되어져 왔으며, 이는 발전방류와 같은 비정상성이 큰 흐름을 적절하게 해석하지 못하는 한계가 있다.

본 연구는 2차원 부정류모형을 이용하여 댐의 발전방류가 하류 하천의 서식처에 미치는 영향에 대하여 분석해보는 것이다. 이를 위하여 흐름모형은 River2D 모형을 사용하였으며 어류에 대한 물리서식처 모의를 하기 위해 HSI 모형을 사용하였다. 일주일간의 발전방류시나리오에 대하여 모의를 실시하였으며 발전방류의 발생에 따른 어류의 서식처 변화를 분석하였다.

## 2. 연구 대상지역

본 연구의 대상지역은 남한강 제 1지류인 달천의 수전교에서 대수보까지 약 2.3 km 구간이다. 수전교는 괴산댐에서 약 0.9 km 하류에 위치한다. 달천의 유역면적은 1,606 km<sup>2</sup>, 유로연장은 123 km 이다. 하상재료는 호박돌, 자갈과 모래 등으로 구성되어 있으며, 평균 하상경사는 1/750 이다 (건설교통부, 1995). 수전교 하류부터 약 1 km의 직선구간이 있으며, 그 뒤로 만곡부가 존재한다. 만곡부 상·하류에서는 소가 존재하며 상류의 소 뒤로 여울이 위치하고 있다. 대상구간의 50년 빈도 홍수량은 1,750 m<sup>3</sup>/s에 해당하며, 갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량은 각각 1.82 m<sup>3</sup>/s, 4.02 m<sup>3</sup>/s, 7.23 m<sup>3</sup>/s, 그리고 17.13 m<sup>3</sup>/s 이다 (건설교통부, 1995).

## 3. 연구 방법

### 3.1 흐름 모형

본 연구에서 흐름모의를 사용된 모형은 River2D 모형이다. River2D 모형은 유한요소법을 이용하여 2차원 수심적분된 St. Venant Equations을 해석한다. 지배방정식은 연속방정식과  $x$ 와  $y$ 방향의 운동량방정식으로 구성되어 있으며 각각 식 (1)-(3)과 같다.

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial Uq_x}{\partial x} + \frac{\partial Vq_x}{\partial y} + \frac{g}{2} \frac{\partial H^2}{\partial x} = gH(S_{ox} - S_{fx}) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial H\tau_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial H\tau_{xy}}{\partial y} \quad (2)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial Uq_y}{\partial x} + \frac{\partial Vq_y}{\partial y} + \frac{g}{2} \frac{\partial H^2}{\partial y} = gH(S_{oy} - S_{fy}) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial H\tau_{yx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial H\tau_{yy}}{\partial y} \quad (3)$$

여기서  $x$ 와  $y$ 는 각각 흐름방향과 횡방향 좌표이며,  $U$ 와  $V$ 는 각각  $x$ 와  $y$ 방향에 대한 수심적분된 유속이다.  $H$ 는 수심,  $\rho$ 는 물의 밀도,  $S_{ox}$ 와  $S_{oy}$ 는 각각  $x$ 와  $y$ 방향에 대한 하상경사,  $S_{fx}$ 와  $S_{fy}$ 는 각각  $x$ 와  $y$ 방향에 대한 마찰경사,  $q_x (=UH)$ 와  $q_y (=VH)$ 는 각각  $x$ 방향과  $y$ 방향에 대한 단위폭당 유량,  $\tau_{xx}$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yx}$ ,  $\tau_{yy}$ 는 수평방향에 대한 난류전단응력 텐서를 의미한다.

### 3.2 서식처 모형

본 연구에서는 어류에 대한 물리서식처를 평가하기 위하여 서식처 적합도 지수 (HSI: Habitat Suitability Index)모형을 이용하였다. 서식처 적합도 지수 모형은 어류의 물리서식처 인자인 수심, 유속, 기층 등에 대한 적합도를 0(부적합) 부터 1(적합)사이의 값으로 표현하는 방법이다. 복합 서식처 적합도 지수 (CSI: Composite Suitability Index)는 개별 서식처 적합도를 이용하여 계산하며, 본 연구에서는 각 서식처 적합도를 서로 곱하는 방법인 곱셈법을 이용하였다. 본 연구 대상 지역의 어종 분포는 피라미 (*Zacco platypus*)가 27%, 갈겨니 (*Zacco temminckii*)가 15%, 쉬리 (*Coreoleuciscus splendidus*)가 15%, 그리고 왜매치 (*Abbottina springeri*)가 11% 등으로 분포한다 (국토해양부, 2009). 따라서 본 연구대상의 우점종인 피라미를 연구 대상어종으로 선정하였으며 강형식 등 (2011)이 제시한 서식처 적합도 곡선을 이용하였다.

#### 4. 연구 결과

모의에 사용된 유량시나리오는 2008년 10월 13일부터 19일까지 일주일동안 측정된 유량을 사용하였다. 측정된 유량은 발전을 위한 댐의 운영으로 인하여 일 단위로 유량조건이 크게 변화하며, 발전방류량의 유량은 약  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  에 달한다.

그림 1은 복합 서식처 적합도지수의 분포를 나타낸다. 발전방류가 하지 않을 때의 하천에 흐르는 기저유량을 갈수량으로 가정하였으며 이 때의 복합서식처 적합도 분포는 그림 1(a) 와 같다. 이 후 발전방류가 발생하였을 때 하천에는 발전방류량이 흐르게 되며 이때의 복합서식처 분포는 그림 1(b) 와 같다. 발전방류량이 발생하였을 때 직선구간에서 서식처가 떨어지는 것을 확인 할 수 있다. 이는 직선구간에는 소가 위치하고 있으며 발전방류량이 발생하였을 때 수심이 깊어지게 되어 피라미에 대한 서식처가 악화되는 조건으로 변화하였기 때문이다. 만곡부 지점에서는 서식처가 일부 상승하는 경향을 보이며 이는 큰 유량의 발생이 낮은 수심을 높게 하였으며, 유수면적 또한 넓게 확보되었기 때문이다.

그림 2는 발전방류량 조건에서의 하상전단응력의 분포를 나타낸다. 하상전단응력은 만곡부 지점에서 큰 값이 분포하고 있다. 만곡부 지점은 여울이 위치하고 있으며 큰 유속조건이 형성되기 때문에 하상전단응력이 상대적으로 크다. 직선구간의 경우 소가 위치하기 때문에 낮은 유속으로 인하여 하상전단응력 역시 작은 값에 분포한다. 최근 하상전단응력은 저서무척추동물의 이송과 관련되어 연구가 진행되어오고 있다. 달천에서의 저서무척추동물은 하루살이목 (24%), 잠자리목 (16%), 파리목 (10%), 날도래목 (9%), 노린재목 (7%) 순으로 분포한다 (최준길과 신현선, 2004).

Hauer et al. (2012)은 hydraulic-threshold approach 방법을 이용하여 하루살이목이 이송이 되는 한계전단응력을 제시하였으며 약  $0.32 \text{ N/m}^2$  값과 같다. 그림 2에서 보면 알 수 있듯이 하상전단응력은 만곡부와 만곡부 도입 부분에서  $0.32 \text{ N/m}^2$  이상의 값이 분포하고 있다. 따라서 이 지점에서 하루살이목의 이송이 크게 발생한다는 것을 파악할 수 있다.

그림 3은 무차원 하상전단응력의 분포를 모의한 것이다. 마찬가지로 여울의 지점에서 무차원 하상전단응력의 값이 크게 분포하고 있음을 확인할 수 있다. 하지만 유사이동이 발생하는 한계 값인 0.03에 도달하지 못하였음을 알 수 있다 (Parker, 2008). catastrophic drift는 큰 홍수량의 발생으로 인하여 유사량의 발생과 함께 하상에 부착되어 있던 무척추동물이 하류로 떠내려가는 상황을 의미한다. 본 모의결과 발전방류량의 발생으로 유사량의 발생을 야기하지 못하며 이로 인하여 catastrophic drift는 발생하지 않는다는 것을 확인할 수 있다.

## 5. 결론

본 연구는 괴산댐 하류 하천에서의 발전방류가 서식처에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 수리해석은 River2D 모형을 이용하였으며, 일주일 동안의 발전방류 시나리오에 대하여 모의를 실시하였다. 기저유량과 발전방류량이 발생하였을 때의 복합서식처 적합도 지수의 분포를 모의하였으며 그 결과 소에서 피라미에 대한 물리서식처가 악화되었다. 발전방류량이 발생하였을 때 하상전단응력의 분포를 모의한 결과 여울에서 하상전단응력이 크게 발생하였으며 이 위치에서 저서 무척추동물의 이송이 크게 발생하게 됨을 확인할 수 있다.

## 감 사 의 글

이 논문은 2014년도 정부 (미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2014R1A2A1A11054236). 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. 강형식, 임동균, 허준욱, 김규호 (2011). 금강수계 하천에서의 어류 서식처적합도지수 산정, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제 31권, 제 2B호, pp. 193-203.
2. 건설교통부 (1995). 달천 하천정비기본계획보고서(준용하천), 건설교통부 하천계획과.
3. 국토해양부 (2009). 생물 서식환경 조성기술 개발 연구보고서, 자연과 함께 하는 하천복원기술개발 연구단.
4. 최준길, 신현선 (2004). 달천 수계의 저서성 대형 무척추동물 분포, 한국환경생태학회 학술발표논문집, 제 2호, pp. 75-77.
5. Bovee, K.D. (1982) A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. Instream Flow Information Paper No. 12, Fish and Wildlife Service, U.S. FWS/OBS-82/26, Fort Collins, CO, USA.
6. Bowen, Z.H., Freeman, M.C., and Bovee, K.D. (1988) "Evaluation of generalized habitat criteria for assessing impacts of altered flow regimes on warmwater fishes." *Transactions of the American Fisheries Society*, 127, 455-468.
7. Gore, J.A., and S.W. Hamilton. (1996). "A comparison of flow-related habitat evaluations downstream of low-head weirs on small and large fluvial ecosystems." *Regulated Rivers*, 12, 459-469.
8. Hauer, C., Unfer, G., Graf, W., Leitner, P., Zeiringer, B., Habersack, H. (2012). "Hydro-morphologically related variance in benthic drift and its importance for numerical habitat modelling." *Hydrobiologia*, 683(1), 83-108.
6. Parker, G. (2008). Transport of gravel and sediment mixtures. *Sedimentation Engineering: Theory, Measurements, Modeling and Practice*, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 110, 165-251.
7. Milhous, R.T., Updike, M.A. and Schneider, D.M. (1989). Physical Habitat Simulation System Reference Manual-Version II. Information Paper No. 26., U.S. Fish and Wildlife Service, FWS/OBS-89/16, Fort Collins, CO, USA.
8. Valentin, S., Lauters, F., Sabaton, C., Breil, P. and Souchon, Y. (1996). "Modelling temporal variations of physical habitat for brown trout (*Salmo trutta*) in hydropeaking conditions." *Regulated Rivers: Research & Management*, 12, 317-330.

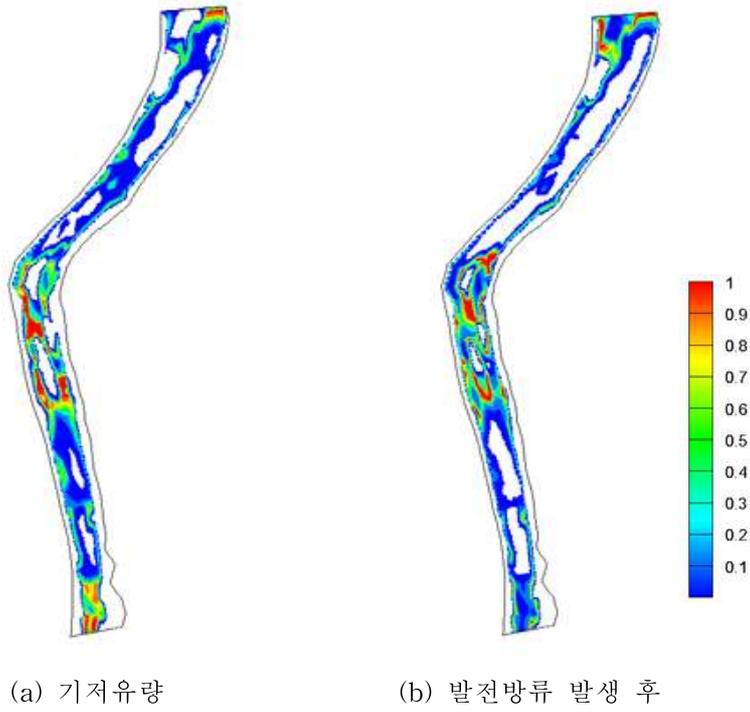


그림 1. 복합서식처 적합도 지수의 분포

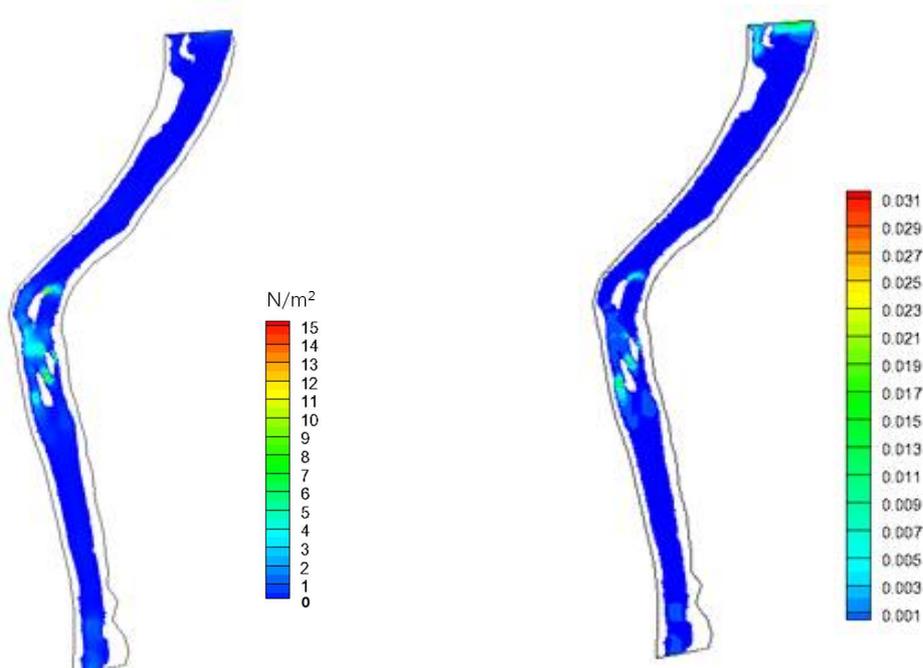


그림 2. 발전방류량 조건에서의 하상전단응력의 분포

그림 3. 발전방류량 조건에서의 무차원 하상전단응력 분포