

댐 하류 하천에서의 수온 모델링

Modeling Water Temperature of a River Downstream of a Dam

최병웅*, 김승기**, 최성욱***
Byungwoong Choi, Seung Ki Kim, Sung-Uk Choi

요 지

하천은 인간의 활동과 산업화에 의해 많은 인위적인 교란을 받고 있다. 대표적으로 댐과 저수지는 수자원의 이용, 발전, 그리고 다양한 산업화를 위하여 건설되었다. 이는 경제발전과 함께 인간의 생명과 용수 공급 및 홍수 예방의 차원에서 많은 역할을 해오고 있다. 그러나 대부분의 댐과 저수지는 하류 하천에 서식하는 생물들에 대한 영향을 거의 고려하지 않고 건설되는 실정이다. 특히 발전방류와 같은 급격한 유량의 변화는 하류 하천에 서식하는 생물들의 서식처에 직접적으로 영향을 미치고 있다. 하류 하천에 서식하는 생물들은 인간의 인위적 교란에도 영향뿐만 아니라 유속, 수심, 기층, 영양물질, 수질, 온도 등과 같은 서식처 요소에도 영향을 받는다. 따라서 서식처 요소들에 대한 연구는 하천 생태계의 변화 또는 영향을 주는 인자에 대해 평가하고 분석하는데 유용하게 사용된다.

본 연구에서는 댐 발전방류로 인한 수온 차이가 하류 하천에 미치는 영향을 파악하였다. 발전방류로 인한 하류 하천의 수온 변화를 모의하기 위하여 미공병단에서 개발된 CE-QUAL-W2 모형을 사용하였다. 대상구간은 괴산댐 하류에 위치한 달천이며 2.5 km구간을 선정하였고, 달천 상류에 위치한 괴산댐은 빈번하게 발전방류를 발생시키고 있다. 발전방류로 인한 하류하천의 수온 변화를 살펴보기 위하여, 여름과 겨울 두 계절의 상반된 경우에 대하여 모의를 수행하였다. 괴산댐의 경우, 중층 및 하층방류를 실시하므로 상대적으로 온도 차이가 심한 발전방류가 하류 하천으로 유입이 된다. 실측된 자료를 살펴보면, 괴산댐에서 발전방류는 하류 하천과의 온도 차이가 약 10°C~19°C 발생하는 것으로 나타났다. 본 연구를 통하여 댐 발전방류로 인한 하류 하천의 수온 변화를 분석함으로써, 댐 하류 하천에서 서식하는 생물들을 고려한 댐 운용 계획을 수립하는데 중요한 기초자료가 될 것으로 기대된다.

핵심용어: 하천 생태계, 괴산댐, 발전방류, 수온 변화, CE-QUAL-W2 모형

1. 서론

하천은 오랜 시간 동안 인간 및 동식물에게 용수 및 에너지 공급과 운송을 위한 통로 등으로

* 정회원 · 연세대학교 대학원 토목환경공학과 통합과정 · E-mail: bw628@yonsei.ac.kr

** 연세대학교 대학원 토목환경공학과 통합과정 · E-mail: seunggi@yonsei.ac.kr

*** 정회원 · 연세대학교 공과대학 토목환경공학과 교수 · E-mail: schoi@yonsei.ac.kr

이용되어 왔다. 산업화와 근대화를 통한 하천공간은 다양한 목적으로 이용되어 왔으며, 하천에서의 수생 생태계는 산림, 초지 및 해안 생태계에 비해 심각하게 악화되었다 (Revenga 등, 2000). 특히 댐과 저수지의 건설로 인하여 댐 하류 하천에서는 수리학적으로 많은 변화를 초래하였다. 댐의 홍수량 조절로 인한 최대 유량감소 및 발전 유량의 방출에 따른 유황의 변화는 자연적인 하천의 흐름과 그 특성이 매우 다르며, 이는 하류 하천에 서식하는 생물들의 서식처에 직접적인 영향을 미치고 있다.

국외의 경우 댐의 건설로 인해 수생태계에 미치는 영향을 파악하기 위한 연구는 많이 수행되어 왔다. Bowen 등 (1988)은 PHABSIM을 이용하여 상류 댐에서의 발전방류가 어류 서식처 적합도에 유리한 기간을 심하게 단축시킨다는 것을 확인하였다. Valentine 등 (1996)은 PHABSIM모형을 사용하여 발전방류 조건에서의 송어에 대한 서식처의 변화에 대해 연구 하였으며, 발전방류로 인한 유량의 변동이 어류의 물리서식처에 안 좋은 영향을 끼친다는 것을 확인하였다. Toffolon 등 (2010)은 발전방류 (hydropeaking) 뿐만 아니라 온도의 차이를 가지는 방류 (thermopeaking)로 인해 댐 하류하천의 수생태계에 심각한 영향을 미치는 것을 해석하기 위해 1차원 모형을 이용하여 analytical solution과 numerical 결과를 비교하였다. Yi 등 (2010)은 1D 부정류 모형과 HSI 모형을 이용하여 양쯔강에서의 잉어 (Cyprinus carpio)를 대상으로 수온 인자를 고려한 어류 물리서식처 분석을 수행하고, 어류의 서식처의 영향을 최소화하는 최소 하천유지유량을 제시하였다. Chang 등 (2002)은 발전소에 인접한 온배수 방류수역의 해수를 양식용수로 사용하는 양식장의 어류의 혈액을 채취하여 온도가 어류에 미치는 영향을 파악하였다. Hur와 Habibi (2007)는 금붕어 (Carassius auratus)를 대상으로 수온의 급격한 변화에 따른 혈액 성분과 생리적 반응을 조사하여 스트레스 반응에 대한 기초자료를 얻었다. 수온의 변화에 따른 어류의 영향은 양식장에서의 어류에 대해서 연구가 되고 있으나, 댐의 발전방류로 인한 하천과의 수온 차이가 어류에 미치는 영향에 대해서는 거의 연구된 바가 없다.

본 연구는 괴산댐 하류 하천인 달천의 2.5 km 구간을 대상으로 발전방류로 인한 수온차이가 물리서식처에 미치는 영향을 분석하였다. 괴산댐의 여름과 겨울 각각 두 계절의 경우를 고려하여 6일 동안의 발전방류 조건에 따라 CCHE2D 모형으로 수리분석을 수행하고, CE-QUAL-W2 모형으로 수온변화를 모의하였다. 또한 Gene Expression Programming으로 물리서식처의 변화를 분석하였다.

2. 모의 구간

댐의 발전방류로 인한 수온차이가 하류 하천의 물리서식처에 미치는 영향을 파악하기 위하여 괴산댐 하류에 위치하고 있는 달천의 수전교에서 대수보까지의 약 2.5 km구간을 선정하여 분석을 수행하였다. 달천은 한강 유역에 위치하고 있으며, 유역면적이 628.41 km²인 중규모 하천이다. 달천 상류에 위치하고 있는 괴산댐은 빈번하게 발전방류를 수행하고 있다.

3. 물리서식처 분석

3.1 수리 분석

본 연구에서 수리분석을 수행하기 위하여 CCHE2D 모형을 이용하였다. CCHE2D 모형은 미국 미시시피 공과대학의 NCCHE (National Center for Computational Hydrosciences and

Engineering)에서 개발한 2차원 수심평균 수치해석 모형으로서, 흐름 및 하상변동 모의가 가능하다. 비정상 흐름의 이동경계조건을 다루기 위해 마름/젓음 기법을 사용하였다.

3.2 수온 분석

댐의 발전방류로 인한 하류 하천의 수온변화를 모의하기 위하여 CE-QUAL-W2 모형을 이용하였다. CE-QUAL-W2 모형은 미 공병단에서 1986년에 개발된 2차원 평균 수리 및 수질모형으로 저수지 수위변동, 흐름방향 및 수심방향의 유속분포, 수온 그리고 28가지 수질항목의 모의가 가능하다. 또한 다양한 유입 및 방류조건에 대한 모의 기능이 포함되어 있어 하천과 저수지의 연계모의가 가능하다. CE-QUAL-W2 모형은 미 육군 공병단 (US Army Corps of Engineers), 미 개척국 (USBR), 테네시 유역 관리청 (TVA)등에서 광범위하게 활용되고 있다.

3.3 서식처 분석

물리서식처 분석을 위하여 유전자 알고리즘의 진화된 형태인 GEP (Gene Expression Programming) 모형을 사용하였다. GEP 모형은 Ferreira (2001)에 의해 개발되었다. GEP 모형은 기존의 유전자 알고리즘과 동일하게 구하고자 하는 해를 유전형으로 표현하고, 모집단을 기본 단위로 선택, 교배, 돌연변이 및 전치 등의 유전 연산자를 사용하여 변형함으로써 점점 더 좋은 해를 도출해낸다. 그러나 기존의 유전자 알고리즘은 이러한 과정과 적합도 함수를 통해 구하고자 하는 해와 종속변수들간의 매개변수 보정을 통해 값을 도출해낸다. 그러나 GEP 모형은 일반적인 유전자 알고리즘의 과정을 통해 계산된 유전자를 연결 함수를 이용하여 expression-tree를 구성하고 이를 통해 수학적 표현인 회귀식을 도출한다. GEP 모형의 경우 일반적인 유전자 알고리즘과는 달리 해의 길이가 가변적이고 유전적 다양성을 극대화 했다는 장점이 있다.

4. 결론

피산댐 하류 하천인 달천의 2.5 km 구간에 대해 수온 변화에 따른 물리서식처 분석을 수행하였다. 수리분석은 CCHE2D 모형을 이용하였고, 수온분석은 CE-QUAL-W2 모형을 이용하였으며, 그리고 서식처 분석은 Gene Expression Programming (GEP)을 이용하였다. 서식처 분석은 수심, 유속, 기층, 그리고 수온 총 4가지를 고려하여 분석하였다. 하류 하천의 수온과 비교하였을 때 상대적으로 온도가 상이한 발전방류가 유입되는 여름과 겨울 두 계절의 경우에 대해 물리서식처 변화를 분석하였다. 복합서식처 적합도지수를 산정하였을 때, 여름의 경우 발전방류를 하였을 때, 하류 하천보다 상대적으로 온도가 낮은 유량이 방류되며, 겨울은 상대적으로 온도가 높은 유량이 방류된다. 발전방류로 인해 여름과 겨울 모두 서식처가 악화되는 것을 확인할 수 있으나, 여름에 특히 심각한 것으로 나타났다. 이는 피라미의 특성상 온도가 20~25 °C를 선호하지만, 여름의 경우 발전방류를 하였을 때 하류하천의 수온보다 상대적으로 온도가 낮은 유량이 유입되므로 이에 대한 큰 영향을 보이는 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 정부 (미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구

임 (NRF-2014R1A2A1A11054236). 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 강형식, 임동균, 정상화, 김규호 (2008). “하천 어류의 서식처 적합도 기준 및 물리 서식처 해석.” 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제42권, 제9호, pp. 47-61.
2. 강형식, 임동균, 허준욱, 김규호 (2011). “금강수계 하천에서의 어류 서식처적합도지수 산정.” 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제31권, 제2B호, pp. 193-203.
3. 김규호 (1999). 하천 어류 서식 환경의 평가와 최적유량 산정. 박사학위논문, 연세대학교.
4. 장영진, 허준욱, 임한규, 이종관. (2001). 연구논문: 수온의 급하강과 급상승이 넙치 (*Paralichthys olivaceus*) 와 쥐노래미 (*Hexagrammos otakii*) 에 미치는 스트레스. 한국수산과학회지, 34(2), 91-97.
5. 허준욱. (2007). 수온충격에 따른 금붕어 (*Carassius auratus*) 의 혈액 성분 및 생리적 반응. 한국어류학회지, 19(2), 93-100.
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, 123(3), 455-468.
7. 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.
8. Toffolon, M., Siviglia, A., and Zolezzi, G. 2010. Thermal wave dynamics in rivers affected by hydropeaking. Water Resources Research, 46(8).
9. Yi Y., Wang Z., and Yang Z. 2010. Impact of the Gezhouba and Three Gorges Dams on habitat suitability of carps in the Yangtze River. Journal of Hydrology, 387(3), 283-291.
10. Scruton, D.A., Pennell, C., Ollerhead, L.M.N., Alfredsen, K., Stickler, M., Harby, A., Robertson, N., Clarke, K.D., and LeDrew, L.J. 2008. A synopsis of ‘hydropeaking’ studies on the response of juvenile Atlantic salmon to experimental flow alteration. Hydrobiologia, 609(1), 263-275.
11. Hunter, M.A. 1992. Hydropower flow fluctuations and salmonids: a review of the biological effects, mechanical causes and options for mitigation. Technical Report No. 119, Department of Fisheries, State of Washington.

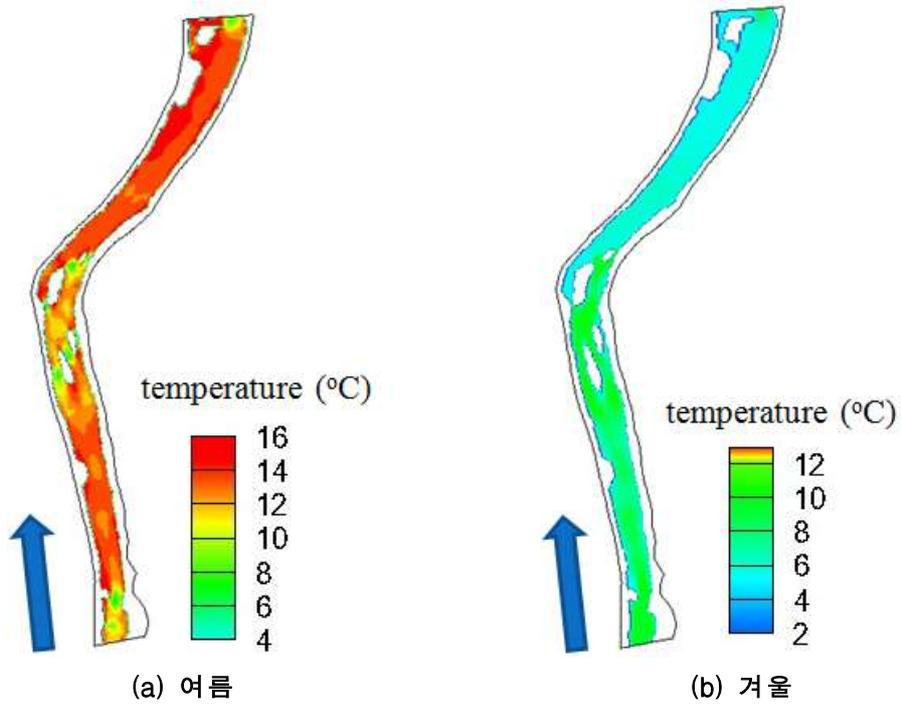


그림 1. 계절별 발전방류에 따른 수온변화