

# 발전방류로 인한 수온의 변동이 하류하천에 미치는 영향 분석

## Impact of Water Temperature Fluctuation due to Hydropeaking on the Downstream

최병웅\*, 최성욱\*\*

Byungwoong Choi, Sung-Uk Choi

### 요 지

하천은 하천에 서식하는 동·식물뿐만 아니라 인간에게 매우 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 인간의 활동과 산업화에 의해 많은 인위적인 교란을 받고 있으며, 대표적으로 수자원의 이용/발전 에 의해 건설된 댐과 저수지를 예로 들 수 있다. 이러한 댐과 저수지는 하천 상·하류간의 생태학적 단절을 초래하여 생물 서식처에 직접적인 영향을 미치고 있으며, 하류하천에 서식하는 생물들 에 대한 영향을 고려하지 않고 건설되는 실정이다. 특히, 발전방류로 인한 급격한 유량의 변화와 온도의 변화는 댐 하류하천의 수생태계에 심각한 영향을 미친다고 알려져 있다. 특히, 댐에서의 온도 차이를 가지는 방류로 인해 국내에서의 운문댐, 보령댐 등 일부 댐에서는 비 수확량 감소사 례가 발생하고 있다.

본 연구에서는 댐 발전방류로 인한 수온의 변동이 하류하천에 미치는 영향을 파악하였다. 발 전방류로 인한 하류하천의 수리분석과 수온 변화를 모의하기 위하여 CMS-Flow 모형을 사용하였 다. 괴산댐 하류에 위치한 달천의 2.3 km구간을 대상구간으로 하였으며, 달천 상류에 위치한 괴산 댐은 빈번하게 발전방류를 발생시키고 있다. 발전방류로 인한 수온의 변동이 하류하천에 미치는 영향을 분석하기 위하여 1년 동안의 발전방류 조건에 대하여 모의를 수행하였다. 봄, 여름, 가을, 겨울 총 4계절로 구분하여 발전방류로 인한 수온의 변동이 미치는 범위를 거리에 따라 분석하였 을 때, 봄은 1.73 km, 여름은 1.92 km, 가을은 1.74 km, 겨울은 2.01 km까지 영향을 미치는 것으 로 나타났다. 방류되는 수온과 하류하천의 수온 차이가 크게 발생하는 여름과 겨울의 경우가 봄과 가을에 비해 영향을 미치는 범위가 큰 것을 알 수 있었다. 본 연구를 통하여 댐 발전방류로 인한 하류하천의 수온 변화를 분석함으로써, 댐 하류하천에서 서식하는 생물들을 고려한 댐 운용 계획 을 수립하는데 중요한 기초자료가 될 것으로 기대된다.

**핵심용어:** 댐, 발전방류, 수온 변동, CMS-Flow 모형, 댐 운용 계획

### 1. 서론

지난 세기동안 전 세계적으로 많은 댐이 건설되었다. 또한 이러한 댐의 건설은 전력 공급, 홍

\* 정회원 · 연세대학교 대학원 토목환경공학과 공학박사 · E-mail: [bw628@yonsei.ac.kr](mailto:bw628@yonsei.ac.kr)

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

수 방어 차원에서 사회에 많은 이득을 주고 있다. 그러나 댐의 홍수량 조절로 인한 최대 유량감소 및 발전방류에 의한 유황의 변화는 자연적인 하천의 흐름 특성과 매우 다르며, 이는 수생태계 뿐만 아니라 댐 하류하천 수질에 악영향을 미치고 있다. 댐 건설로 인한 하천환경 변화 외에도 댐에서의 발전방류는 어류 서식처의 변화를 초래한다 (Valentin et al., 1996; Scruton et al., 2008). 또한 댐 발전방류로 인해서 하류 하천에서 특정의 어류가 감소하거나 사라지게 되는 직접적인 원인이 될 수 있다. 이러한 발전방류 뿐만 아니라 수온의 차이를 가지는 방류 역시 하류하천에 서식하는 생태계에 악영향을 미친다고 알려져 있다 (Lessard and Hayes, 2003; Zolezzi et al., 2011; Dickson et al., 2012).

국외의 경우 댐의 건설로 인해 수생태계에 미치는 영향을 파악하기 위한 연구는 많이 수행되어 왔다. Valentin 등 (1996)은 PHABSIM을 이용하여 발전방류 조건에서의 송어에 대한 서식처의 변화에 대해 연구 하였으며, 발전방류로 인한 유량의 변동이 어종의 서식처를 감소시킨다는 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. Hur와 Habibi (2007)는 금붕어 (Carassius auratus)를 대상으로 수온의 급격한 변화에 따른 혈액 성상과 생리적 반응을 조사하여 스트레스 반응에 대한 기초자료를 얻었다. 그러므로 수생태계에서 수온의 변화를 예측하고 영향에 대해 분석하는 것은 중요한 요구사항이라고 할 수 있다. 수온 변화에 따른 어류의 영향은 양식장에서의 연구가 되고 있으며, 기존의 어류 물리서식처 분석을 수행할 때 온도의 인자를 고려하여 분석한 연구는 현장 실측자료를 분석한 연구가 대부분이다. 그러므로 댐의 발전방류로 인한 하천과의 수온 차이가 어류에 미치는 영향에 대해서는 거의 연구된 바가 없다.

본 연구는 괴산댐 하류 하천인 달천의 2.3 km 구간을 대상으로 발전방류 뿐만 아니라 수온 차이를 가지는 방류가 하류하천의 물리서식처에 미치는 영향을 분석하였다. CMS-Flow 모형을 이용하여 수리분석과 수온변화를 모의하였고, Gene Expression Programming 모형으로 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 2.3 km구간을 선정하여 분석을 수행하였다. 달천 상류에 위치하고 있는 괴산댐은 빈번하게 발전방류를 시행하고 있다. 또한 물리서식처분석의 어종은 달천의 우점종인 피라미로 선정하였다.

## 3. 물리서식처 분석

### 3.1 수리 분석

본 연구에서 수리 및 수온변화 분석을 수행하기 위하여 CMS-Flow 모형을 이용하였다. CMS-Flow 모형은 U.S. Army Engineer Research and Development Center (ERDC)와 Coastal and Hydraulics Laboratory (CHL)에서 개발한 2차원 수심평균 수치해석 모형으로서, 흐름, 하상 변동 및 수온변화 모의가 가능하다. 비정상 흐름의 이동경계조건을 다루기 위해 마름/젓음 기법을 사용하였다.

### 3.2 서식처 분석

물리서식처 분석을 위하여 유전자 알고리즘의 진화된 형태인 GEP (Gene Expression Programming) 모형을 사용하였다. GEP 모형은 Ferreira (2001)에 의해 개발되었으며, 수학적 표현, 의사결정 분지도, 여러 인자의 다항식 구성, 논리식이 포함되어 있다. GEP 모형은 선형 염색체에 모든 인자와 연산자를 인코딩하고 이는 다시 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

괴산댐 하류 하천인 달천의 2.3 km 구간에 대해 수온 변화에 따른 물리서식처 분석을 수행하였다. 수리 및 수온분석은 CMS-Flow 모형을 이용하였으며, 서식처 분석은 Gene Expression Programming (GEP)을 이용하였다. 서식처 분석은 수심, 유속, 기층, 그리고 수온 총 4가지 인자를 고려하여 분석하였다. 그림 1은 하류하천의 수온과 비교하였을 때 상대적으로 수온의 차이를 가지는 물이 방류되었을 때 어느 지점까지 영향을 미치는 지에 대해 나타낸 그림으로 봄 (3월-5월), 여름 (6월-8월), 가을 (9월-11월), 겨울 (12월-2월)로 구분하여 나타내었다. 봄, 여름, 가을, 겨울 모두 발전방류가 시행되면서 하류하천의 수온 차이가 발생하고 있으며, 봄은 3.8 °C, 여름은 8.9 °C, 가을은 4.4 °C, 겨울은 7.8 °C의 최대 수온차이가 발생하였다.

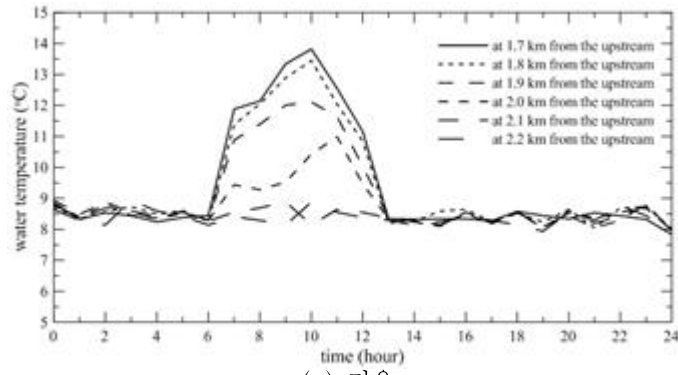
봄과 가을은 여름과 겨울에 비해 상대적으로 수온차이가 적게 발생하였다. 이는 여름과 겨울은 봄과 가을에 비해 발전방류의 횟수가 많을 뿐만 아니라 방류되는 수온과 하류하천의 수온차이가 크게 발생하는 것으로 판단된다. 그러나 봄, 여름, 가을, 겨울 모두 수온의 차이를 가지는 방류로 인해 하류하천의 수온차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 수온의 차이를 가지는 방류로 인해서 하류하천 수온의 변화가 발생하기 때문에 이는 하류하천에 서식하는 어류에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

## 감사의 글

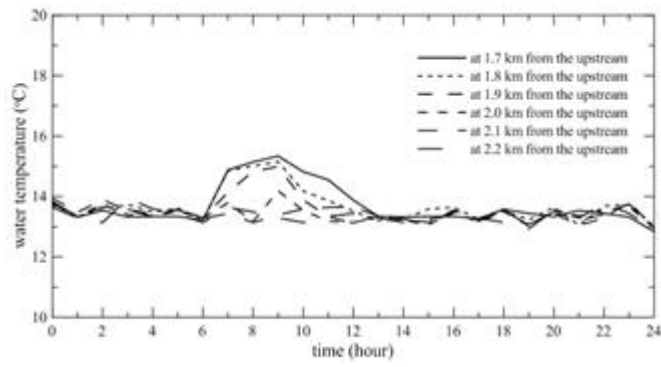
이 논문은 2014년도 정부 (미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2014R1A2A1A11054236). 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참고 문헌

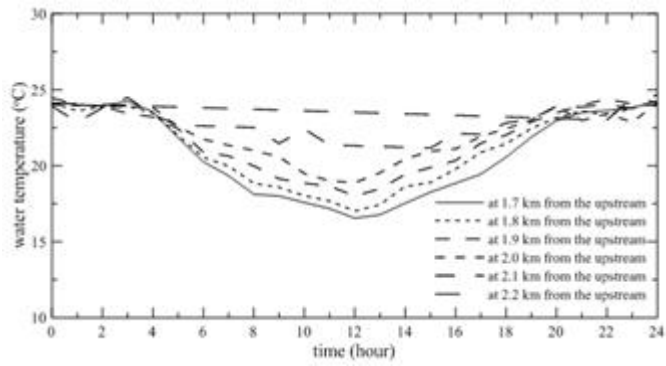
1. Dickson, N.E., Carrivick, J.L., and Brown, L. E. (2012). "Flow regulation alters alpine river thermal regimes." *Journal of Hydrology*, 464, 505-516.
2. Ferreira, C. (2001). "Gene expression programming in problem solving." In *Proceedings of the 6th Online World Conference on Soft Computing in Industrial Applications* (Invited Tutorial), Santiago, Chile, 10 - 24.
3. Hur J.W. and Habibi H.R.(2007). "Physiological response and hematological characteristics of goldfish (*Carassius auratus*) to water temperature shock." *Korean Journal of Ichthyology*, 19(2), 93 - 100.
4. Lessard, J.L. and Hayes, D.B. (2003). "Effects of elevated water temperature on fish and macroinvertebrate communities below small dams." *River Research and Applications*, 19(7), 721-732.
5. Toffolon, M., Siviglia, A., and Zolezzi, G. (2010). "Thermal wave dynamics in rivers affected by hydropoaking." *Water Resources Research*, 46(8).
6. 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 'hydropoaking' studies on the response of juvenile Atlantic salmon to experimental flow alteration." *Hydrobiologia*, 609(1), 263-275.
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 hydropoaking conditions." *Regulated Rivers*, 12(2-3), 317-330.
8. 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.
9. Zolezzi, G., Siviglia, A., Toffolon, M., and Maiolini, B. (2011). "Thermopoaking in Alpine streams: event characterization and time scales." *Ecohydrology*, 4(4), 564-576.



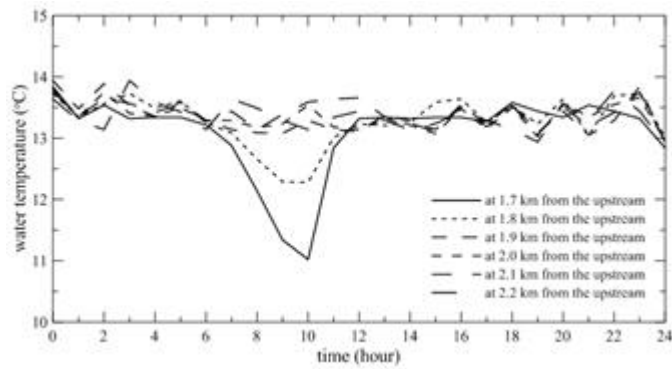
(a) 겨울



(b) 봄



(c) 여름



(d) 가을

그림 1. 계절별 발전방류에 따른 수온변화