

동적수질모형을 활용한 하류하천 수온 변동모의

Downstream Rivers Water Temperature Modeling using 1-D Dynamic WaterQuality Model

노준우*, 정성태**, 강기호***
Joon Woo Noh, Sung Tae Jung, Ki Ho Kang

요 지

수온은 생태계에 중요한 인자이다. 수온이 상승할수록 용존산소 용해도가 감소하며, 유입된 유기성 폐기물 분해에 많은 영향을 미친다. 낮은 온도에 민감한 수생생물들은 온도에 의해 여러가지 생화학적·생리학적인 작용들이 좌우되며, 온도가 올라갈수록 먹이사슬 내에서 신진대사와 생식율이 증가한다.

따라서 댐 하류 하천에서 방류수 수온 검토 및 수온변화를 파악하기 위해 용담댐 직하류 하천에 수온계를 설치하여 수온변화를 모니터링하고, 1차원 비정상 모형을 사용하여 용담댐건설에 대한 하류하천 수온 변화를 파악하였다.

핵심용어 : 수온, 1-D Unsteady, 용담댐

1. 서론

댐은 하천에서 연속성을 교란시키고, 유사이송과 흐름에 대한 연속성을 간섭하며, 수생생물의 서식 및 이동에 영향을 준다. 수생생물 중에서 어류는 고등동물로서, 먹이사슬의 상위에 위치하고, 광범위한 서식 조건의 장·단기간 동안 변동 양상을 파악할 수 있는 매우 중요한 지표종(indicator species)이며, 하천의 유량과 수질에 밀접한 관계가 있다. 하천에서 자연적·인위적 교란에 의해 유황 및 수질이 변화되면, 수생태계의 서식환경이 변화되어, 하천의 생물상이 변화를 하게 된다. 또한, 하천 시스템에서 수온변동과 수질악화는 생태계 서식환경에 영향을 크게 미치게 된다.

연구동향을 살펴보면 황진영(2008)은 과거의 수문 운영 자료 및 월별 수질 자료와 모니터링한 결과를 토대로 수질개선을 위한 최적의 수문운영 방안을 모색하기 위해 하천수질모델링을 구축해 보고자 하였다. 본 연구에서는 상류단의 수온변화로 인한 하류하천의 수온변동을 모의하여 용담댐이 하류하천 수온변화에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

2. 연구지역 선정 및 분석방법

2.1 용담댐 유역현황

용담댐 유역은 금강유역의 최상류에 위치하며, 북위 36° 00' ~ 35° 35', 동경 127° 20' ~ 127° 45' 에 걸쳐 있다. 용담댐 유역은 면적이 930 km²로 금강 유역면적 9,886 km²의 약 9.45%를 점유한다. 금강을 중심으로

* 정회원 · K-water 연구원 선임연구원
** 정회원 · K-water 연구원 공동연구원
***정회원 · K-water 댐·유역관리처 차장

· E-mail : jnoh@kwater.or.kr
· E-mail : jst9711@gmail.com
· E-mail : kangkiho@kwater.or.kr

유역의 동쪽 능선은 백두대간(소백산맥), 서쪽능선은 금남정맥(노령산맥)을 이루고 있으며, 지대가 매우 높다. 유역의 고도는 최저 EL.205.4 m에서 최고 EL.1,587 m까지 분포하고 있으며, 용담댐의 만수위는 EL.263.5 m로서 유역 전체가 고지대에 위치하고 있다. 본 연구에서는 용담댐에서부터 호탄지점까지 약 90 km 구간을 분석구간으로 설정하였다.

2.2 수온관측

댐 하류 하천에서 방류수 수온 검토 및 수온변화를 파악하기 위해 용담댐 직하류 하천에 수온계를 설치하여 수온변화를 모니터링하여 분석하였으며, 수온계 설치위치는 표 1에 나타내었다.

표 1. 수온계 설치 위치

수온계 위치		하류로부터 거리(km)		비고	위치도
명칭	지정명	본류	지류		
신용담교	Yst1	89.5		방류구 수온	
용담수위표	Yst2	86.1		수위-유량	
덤덜교	Yst3	82.2		수위-유량	
용포교	Yst4	68.2		무주 남대천 합류전	
지류(남대천)	Tb1		1.0	무주대교(무주)	
수통	Yst5	49.3		합류직후	
지류(봉황천)	Tb2		1.0	제원교(봉황천)	
호탄	Yst6	20.9		수위-유량	

2.3 유량자료

대상구간의 댐 방류량에 대한 자료는 용담댐 실측 방류량을 사용하였으며 각 지천별 유출량은 장기유출 모형으로부터 산정된 결과를 이용하였으며, 다음 그림 1에 나타내었다.

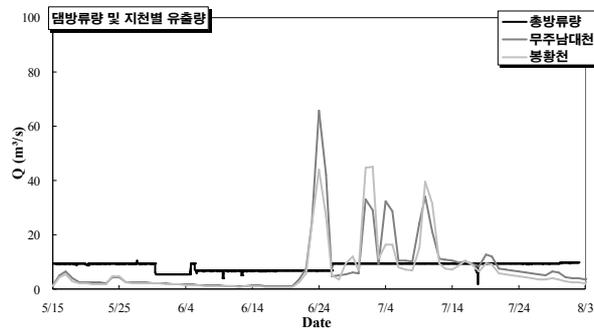


그림 1. 유량입력자료

2.4 수온자료

본 모의에 사용된 수온자료를 다음 그림 2에 도시하였다. 5월 15일 ~ 8월 1일까지의 지점별 실측자료를

사용하였으며, 시간대별로 일정한 변동을 보이고 있으나 시간이 지남에 따라 점차 수온이 올라가는 것을 볼 수 있다.

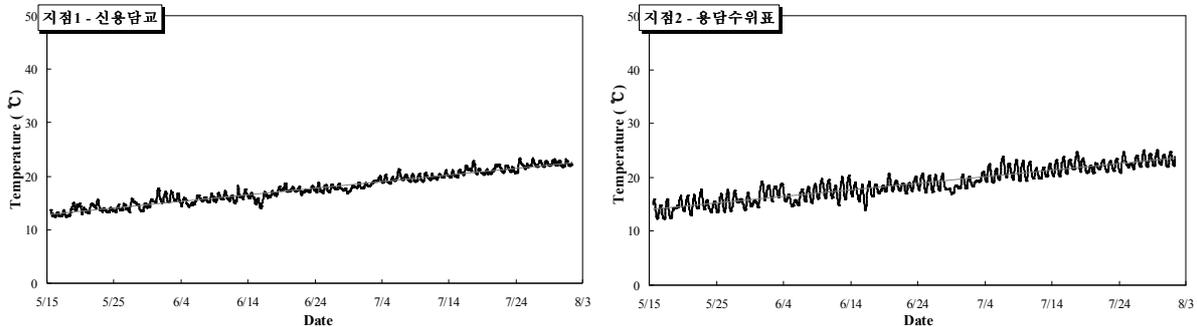


그림 2. 수온입력자료

3. 동적수질모형(KORIV1-WIN)

3.1 모형의 개요

KORIV1-WIN 모형은 미국 공병단 Waterways Experiment Stations (WES)에서 개발한 CE-QUAL-RIV1 모형을 기본모형으로 삼고 있으며, 수리해석모듈과 수질해석모듈로 나뉘어 있으며, 각각의 모듈은 1차원(단면평균), 입력자료 구성을 위한 Pre-Processor와 출력결과 조회를 위한 Post-Processor로 구성되어 있다.

수리해석모듈은 우선 유량, 유속, 단면적, 수위와 같은 물의 흐름특성을 예측하고 그 결과를 저장하여 수질해석모듈의 입력자료로 전달한다. 수리모듈은 지하수와 같은 측면류 흐름과 다중 지류하천의 모의가 가능하며 경계조건의 정의에 따라서 정상상태의 모의도 가능하다. 수리해석모듈은 St. Venant의 연속 및 운동량 방정식을 4점 음해석(implicit) 유한차분법으로 해석한다. 수질해석모듈은 수온, CBOD, 유기질소, 암모니아 질소, 질산성 질소, 용존산소, 유기 인, 용존 인, 조류, 용존 철, 용존 망간 및 대장균의 12가지 수질 항목 모의가 가능하다. 특히, 이 모형에서는 macrophytes의 영향이 고려되었다. Holly-Preissman 방법에 의한 2점 4차원(2-point, 4th-order) 양해법(explicit)에 의해 확산에 대한 수치적 정확성을 확보하였다

3.1.1 수리모듈(RIV1H)

부정류 해석을 위한 수리모듈의 지배방정식은 연속방정식과 운동량방정식으로 구성된다. x 방향의 미소 길이 Δx 안에서의 질량과 운동량은 보존되고, 이를 일반적인 3차원 요소에 대해서 나타내면 다음과 같다.

$$\text{질량: } \int_{CV} \frac{\partial \rho}{\partial t} dV + \int_{CS} (\rho \mathbf{v} \cdot \mathbf{n}) dA = 0, \quad \text{운동량: } \int_{CV} \frac{\partial \mathbf{v} \rho}{\partial t} dV + \int_{CS} \mathbf{v} (\rho \mathbf{v} \cdot \mathbf{n}) dA = \mathbf{F} \quad (1.1)$$

여기서 ρ 는 유체의 밀도, t 는 시간, dV 는 미소체적, \mathbf{v} 는 속도벡터 ($\equiv u\mathbf{i} + v\mathbf{j} + w\mathbf{k}$), dA 는 미소면적, \mathbf{F} 는 검사체적에 작용하는 외력이다.

3.1.2 수질모듈(RIV1Q)

오염물질의 질량보존방정식은 흐름방정식을 구하는 것과 같은 방법을 사용하여 식(1.2)에서 구할 수 있다.

$$\text{오염물질: } \int_{CV} \frac{\partial \alpha}{\partial t} dV + \int_{CS} \alpha (\mathbf{v} \cdot \mathbf{n}) dA = S^* \quad (1.2)$$

여기서 α 는 오염물질의 농도, S^* 는 용출소멸량이다.

4. KORIV1-WIN 모형의 적용 및 결과 분석

4.1 모형의 검증

수온모의 결과를 실측값과 비교하여 다음 그림 3에 나타내었다. 모의결과 하류로 내려 갈수록 관측값과 모의값의 차이가 1.1 ~ 6.6 °C 정도 점차 커지는 것을 볼 수 있으며, 모의값이 관측치보다 대체적으로 낮게 모의되고 있으나, 수온변동 경향 및 전반적으로 모의치가 관측치를 잘 반영하고 있는 것을 보아 전반적으로 적절한 수온 모의가 이루어진 것을 볼 수 있다.

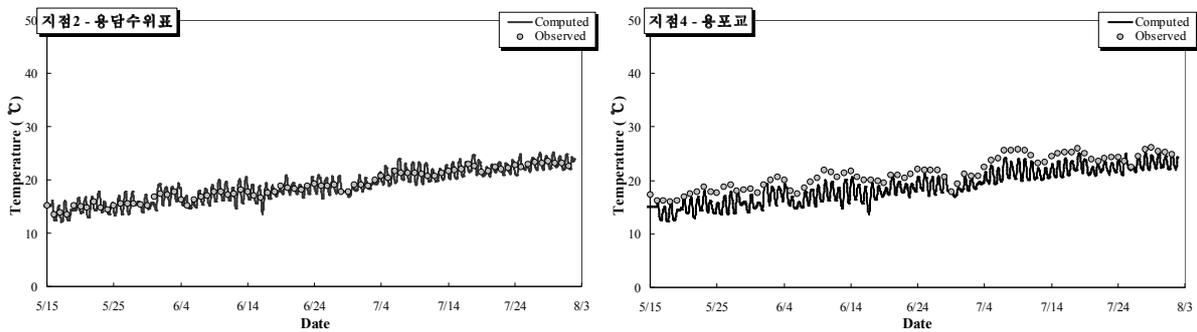


그림 3. 모형검증 결과

4.2 용담댐 건설에 따른 하류하천의 수온변화

검증된 모형을 바탕으로 용담댐의 방류수가 용담댐 유입수 수준의 수온을 유지한다고 가정하였을 때 (Case ; 용담댐 無) 용담댐 방류수 수온이 하류하천의 수온에 미치는 영향을 알아보았다.

용담호로 유입하는 여러 지류들의 수온자료를 평균하여 용담댐 방류수의 온도로 가정하였으며, 용담댐無의 모의에 사용된 수온 자료는 환경부 수질측정망의 월평균 자료로써 각 월평균 자료를 각월의 15일의 온도라 가정하고 일별로 선형보간하여 사용하였다. 용담댐 유·무에 따른 5월 ~ 7월에 7.7 °C ~ 3.8 °C 가량 수온 차이를 보이고 있으며, 이를 그림 4에 도시하였다.

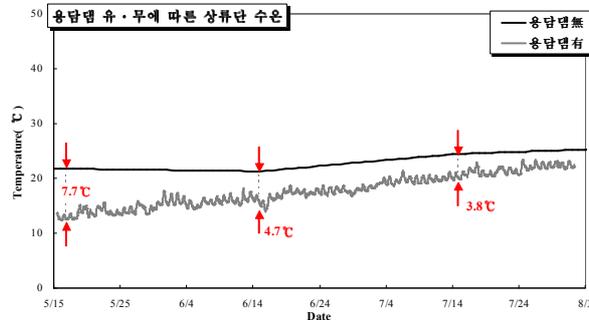


그림 4. 용담댐 유·무에 따른 상류 수온비교

용담댐無의 모의 결과를 실제 본류구간 모의결과와 비교하여 다음 그림 5에 각 지점별로 나타내었다. 전반적으로 용담댐이 없는 경우(용담댐無)가 실제의 경우(용담댐有)보다 높게 모의되었으며, 무주남대천 합류 후부터 지류의 영향을 받아 실제의 경우와 용담댐이 없는 경우가 비슷한 양상을 보이기 시작하였다. 특히

Yst 5와 Yst 6의 최대 수온차이가 6월 24일 전·후로 Yst 5는 5.3 °C, Yst 6은 4.8 °C에서 각각 1.7 °C와 1.6 °C로 확연히 줄어들면서 실제 본류 수온거동 양상에 상당히 근접하는 것을 볼 수 있다. 위와 같은 결과는 6월 24일경 부터 무주남대천과 봉황천의 유량이 증가하여 상대적으로 용담댐 방류량보다 큰 유량이 유입되어, 본류로 유입되는 지류의 수온이 본류 하류하천에 더 큰 영향을 끼치기 때문으로 사료된다.

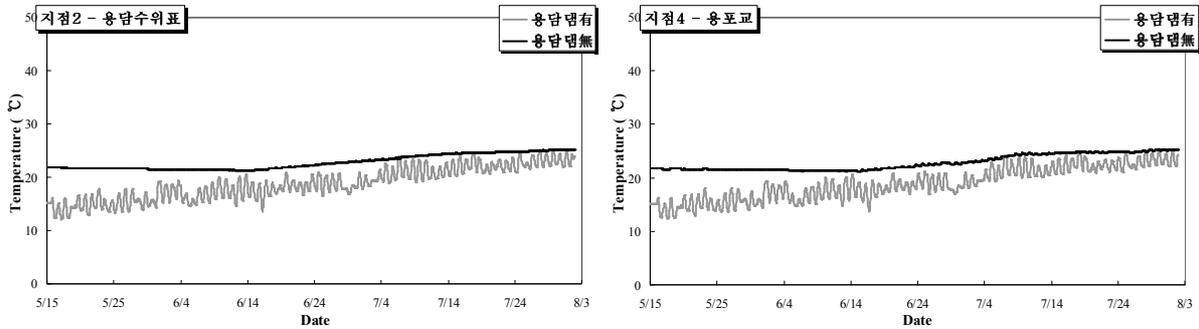


그림 5. 상류단 수온 변화시 하류하천의 수온에 끼치는 영향

5. 결론

용담댐無의 모의 결과를 바탕으로 용담댐의 방류수 수온이 하류 하천에 끼치는 영향을 알아보았다. 그 결과 최상류 방류수 수온이 높으면 하류하천 전 구간에 걸쳐 수온이 높아짐을 볼 수 있었으며, 유입지류의 유량에 따라 본류 하류하천의 수온이 좌우되는 것을 볼 수 있었다. 이 같은 결과를 바탕으로 댐 유무에 따라 하류하천의 수온이 좌우되며, 이와 같은 변화는 하류수생생물의 서식에 영향을 끼칠 것으로 사료된다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호: 1-6-3)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 한국수자원공사(2002). 용담댐 일원 하천유량측정등 수문조사 보고서.
2. 한국수자원공사(2004a). 실시간 물관리 운영시스템 구축기술개발 : 비정상상태 하천수질 예측모형구축, 21세기 프론티어 연구개발사업보고서 1-6-1.
3. 고익환, 노준우, 김영도(2005). 정상 및 비정상상태 하천수질모형의 비교, 수자원학회논문집, 38(6), pp. 941 ~ 949.
4. 박정은, 박석수(2006). 연속적 댐 건설이 하류하천 수온 변화에 미치는 영향 예측을 위한 모델연구, 대한상하수도학회 한국물환경학회 2006 공동 추계학술발표회 논문집, pp. 855 ~ 860.
5. 황진영(2008). 하천수질모델링을 통한 서낙동강의 수질관리 방안 연구. 인제대학교 석사학위 논문.
6. Linfield, B. and Barnwell, T.(1987). *The enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Manual, USEPA/600/3-87/007*. USEPA, Env. Res. Lab., Athens, GA.
7. Environmental Laboratory, U.S. Army Corps of Engineers, WES.(1995). CE-QUAL-RIV1: A Dynamic, One-Dimensional (Longitudinal) Water Quality Model for Streams User's Manual. USACE, WES, Vicksburg, MS.