

댐 하류 수질예측을 위한 비정상상태 하천수질모형의 적용

Water Quality Simulation in a Dam Regulated River using an Unsteady Model

정세웅* (충북대학교 환경공학과) · 고익환 (한국수자원공사 수자원연구원)

Chung, Se-Woong* · Ick Hwan Ko

Abstract

Mathematical models can be used to evaluate the effects of operational alternatives of dam on the downstream aquatic environment. An unsteady, one-dimensional water quality model, CE-QUAL-RIV1 was calibrated and validated in Geum river as a sub model for the realtime water management system in the basin. The main usage of the model within the system is to predict the effects of flow regulation by Daecheong Dam on the downstream water quality. The validated model was then used to simulate dynamic water quality changes at several key stations responding to different scenarios of reservoir releases under a hypothetical spill condition. The model showed fairly good performance in the simulation of hydrodynamic and mass transport processes under highly unsteady conditions.

I. 서론

댐에 의해 조절되는 하천에서는 적절한 하천유지유량의 확보는 물론이고 하류 하천의 수질악화와 사고를 고려한 댐 운영 기법이 꼭 필요하다. 연구목적은 댐 조절하천의 수질관리를 지원하기 위한 1차원 비정상상태(unsteady state) 하천수질모형인 CE-QUAL-RIV1 모형을 금강수계에서 보정·검증하고 댐 방류량 변화에 따른 하천 수질변화를 모의 예측하는데 있다.

II. 재료 및 방법

댐 방류량 변화에 따른 하류 취수지점 또는 수질관리지점에서의 수질변화를 예측하기 위한 수질모형으로 미공병단에서 개발한 CE-QUAL-RIV1(1995)을 선정하였다. RIV1 모형의 수리모듈은 1차원 비선형 St. Venant 연속 및 운동량 방정식을 4점 음해적 유한차분법으로 해석한다. 수질모듈은 오염물질의 물질수지식에 대해 이송항은 인접한 두 절점 사이의 공간적 농도변화를 3차 다항식으로 묘사하는 Holly와 Preissman의 4차 양해법을 적용하며, 확산항은 음해적 유한차분법으로 해석하여 Thomas algorithm으로 해를 구한다. 수질모의 항목은 온도, 용존산소, CBOD, Org-N, NH₃-N, NO₃-N, Org-P, PO₄-P, 망간, 철, 대장균군수 등이며, 조류나 수생생물의 변화량도 포함한다. 성층화로 인해서 발생하는 댐 하류부의 무산소 방출수 효과를 고려하기 위해서 철과 망간도 모의한다.

모의 대상구간은 댐 방류량에 따른 하천수질의 영향이 크며, 대전공단 등 오염물질 누출사고의 잠재성이 있는 금강수계내 대청댐 하류(대청 조정지댐 ~ 금강 하구둑)를 선정하였다. 하천의 단면자료는 수치해의 발산을 방지하고 안정성을 도모하기 위해 최근 금강하천 정비기본계획에서 측량한 하천 단면자료를 사다리꼴 형태로 변환·정형화하여 입력자료를 재구성하였다. 전체 130.47km의 본류 하도를 56개의 노드로 구성하였으며, 지류는 7개로 구성하여 지류유입량의 영향을 고려할 수 있도록 하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1 모형의 보정 및 검증

수질해석에 관계하는 매개변수는 35개 정도이나, 대상 항목에 따라 매개변수가 달라진다. 민감도 분석을 위해 CBOD, Org-N, NH₃-N, NO₃-N, Org-P, PO₄-P를 모의 항목으로 선정하였으며, 관계된 주요 매개변수를 예비 모의를 통해 Table 1과 같이 선정하였다. 민감도 분석은 정규화하여 나타낼 수도 있지만, 농도의 절대값 변화에 대한 분석을 위해 농도 변화 값을 직접 비교하였다. 민감도 분석결과 AKN과 ADN은 NH₃와 NO₃의 농도에 큰 영향을 미치며, 하류로 갈수록 매개변수 값에 따른 영향이 크게 나타났다(Fig. 1).

2002년 9월에 대상구간의 본류와 주요지류에서 실측한 자료를 경계조건으로 이용하여 정상상태의 조건에서 모형의 매개변수를 보정하였다. 수리모들은 정상상태로 안정화시킨 후 모의를 수행하여 수치 해석상의 진동을 배제하였다. 보정결과의 평가를 위해 평균 제곱근 오차(RMSE)를 사용하였다. 민감도 분석을 통해 선정된 매개변수를 보정한 결과는 AK1, AKN, ADN, KPSET, KPDK가 각각 0.08, 0.1, 0.1, 0.05, 0.04일 때 모의값이 실측값에 가장 근접하였다. 모형은 대상 하천의 구간별 수질을 비교적 잘 모의하는 것으로 나타났으나, NH₃는 실측치 보다 다소 높게 모의되는 경향을 나타내었다(Fig. 2). 이는 NH₃의 질산화과정의 수온과 pH 등에 민감한 반면, 이에 대한 입력자료의 신뢰도가 떨어지기 때문인 것으로 사료된다. 또한 자료의 한계때문에 조류의 모의가 생략된 것도 오차의 원인이 된다.

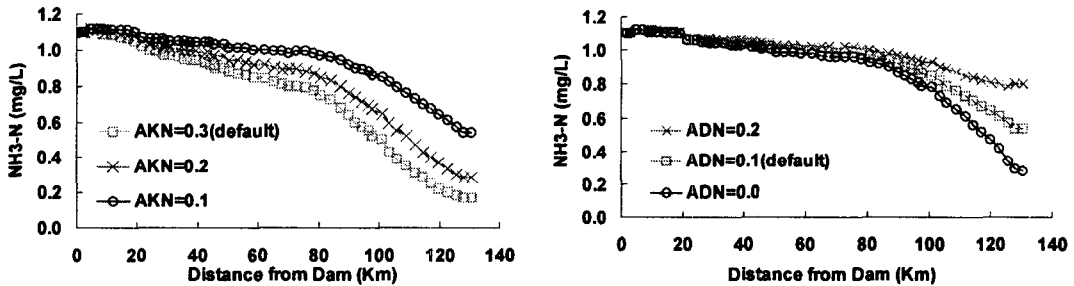


Fig. 1 Model sensitivity on NH₃-N concentrations from AKN and ADN perturbations

모형의 검증을 위해 2002년 10월에 측정한 자료를 사용하였다. 모형 검증 결과(Fig. 3), RIV1은 대상 하천의 수질을 비교적 잘 모의하였으나, 하구둑에서의 수질은 관측치와 모의치가 다소 편차를 보이고 있어 입력자료의 정확도와 하구에서의 수질반응 등에 대한 추가적인 검토가 필요한 것으로 나타났다.

Table 1. Model parameters used for sensitivity analysis

Parameter	Description	Unit	Default	Perturbation
AK1	CBOD decay rate	1/day	0.15	0.04~0.15
AKN	nitrification rate	1/day	0.3	0.0~0.3
ADN	denitrification rate	1/day	0.1	0.0~0.2
KPSET	Org-P settling rate	-	-	0.0~0.1
KPDK	Org-P decay rate	1/day	0.0	0.0~0.1

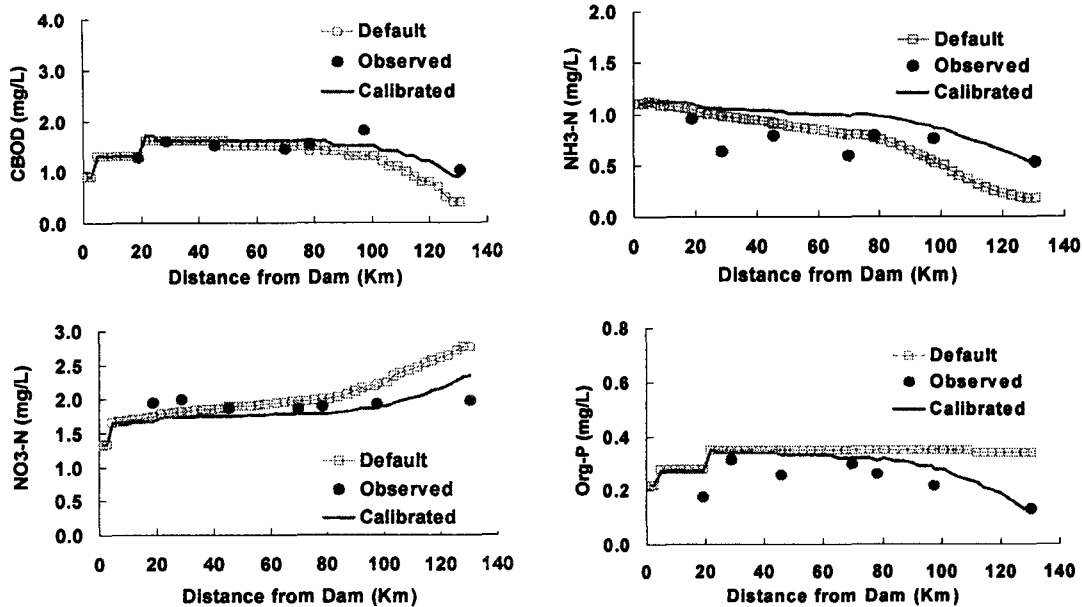


Fig. 2 Model calibration results using field data observed on September, 2002

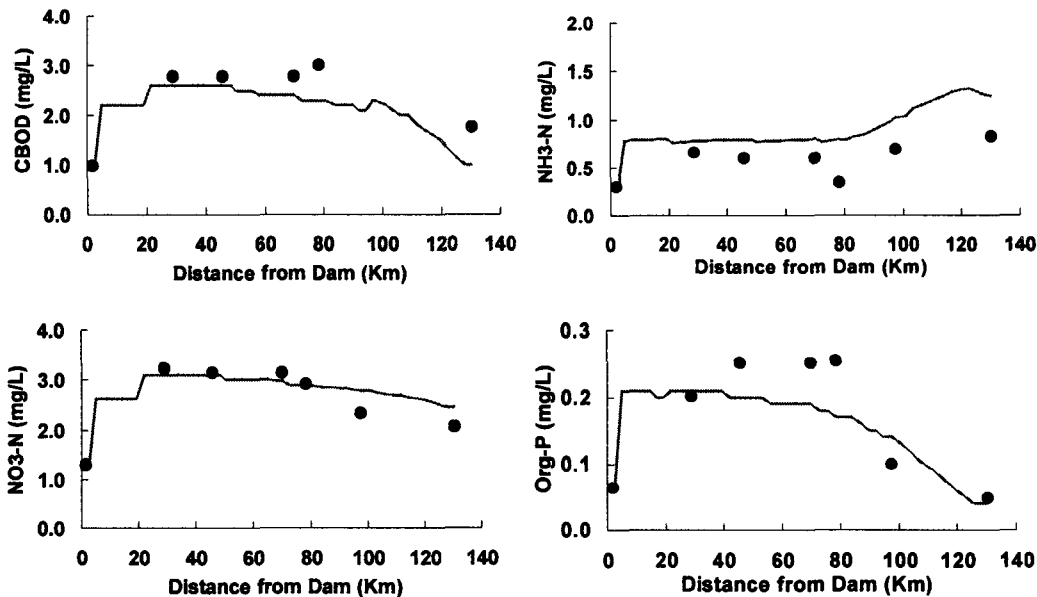


Fig. 3 Model verification results using field data observed on October, 2002.

3.3 가상 수질사고 모의해석

댐 방류량에 따른 동적인 수질모의는 수질사고를 가상하여 수행하였다. 즉, 갑천에 위치한 하수종말처리장의 고장으로 무처리 하수가 직접 금강 본류로 유입하는 상황을 가상하

였으며, 댐 방류량 증가에 따른 주요지점의 시간과 거리에 따른 BOD 농도변화를 모의하였다. 모의 기간은 2002년 9월1일부터 9월10일까지로 하였다. 하수처리장의 무처리 방류량은 9월3일 1시에서 9월4일 1시까지 24시간 동안 620,000 m³/sec이었으며 감천 합류후 금강 본류로 유입하는 유량가중 BOD 평균농도는 53.5 mg/L로 계산되었다. 모의결과 부여지점에서 BOD 농도를 3.0 mg/L이하로 낮추기 위해서는 댐으로부터 200cms의 추가 방류가 필요하였다. 댐에서 추가방류를 하지 않을 경우, 9월4일 9시경에 부여지점에서의 BOD 최고농도는 5.7 mg/L로 나타났다. 방류량이 증가함에 따라 BOD의 첨두농도는 급격히 감소하였으며, 도달시간은 약간 빨라지는 경향을 보인다.

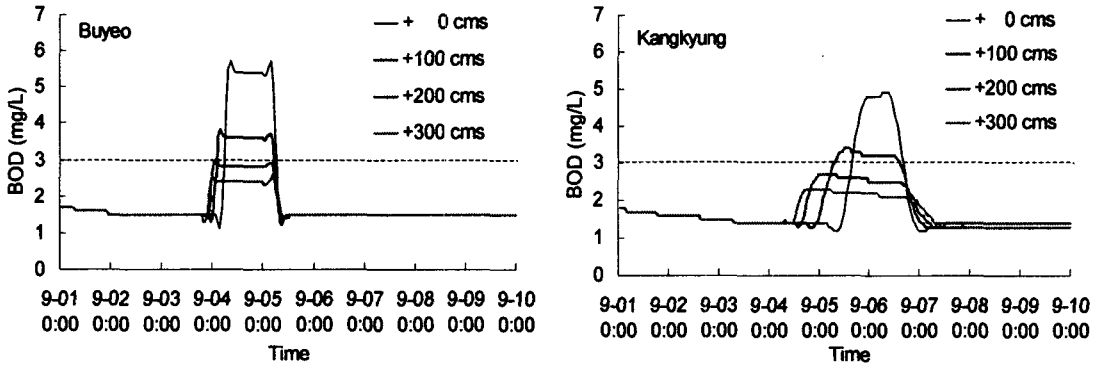


Fig. 4 Simulated BOD pollutographs under various dam outflows at the key stations

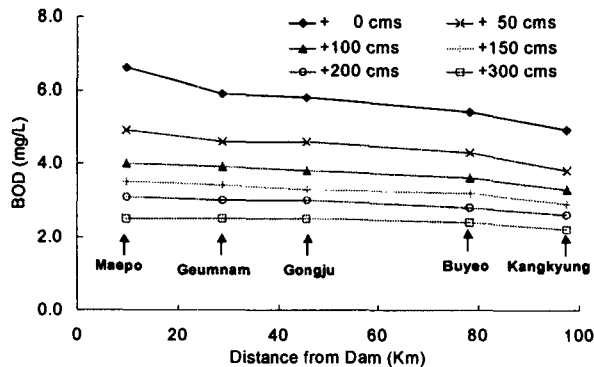


Fig. 5 Simulated BOD profiles along the Geum river under various dam outflows

참고문헌

1. USCOE, WES, Environmental Laboratory, "CE-QUAL-RIV1: A Dynamic, One-Dimensional (Longitudinal) Water Quality Model for Streams: User Manual," Instruction Report, 1995.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-6-1)에 의해 수행되었습니다. 이와 관련된 분들에게 감사드립니다.

2003년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2003년 11월 1일)