

유역통합수자원관리를 위한 하천수질 예측시스템의 개발 및 적용



노 준 우 ▶▶▶

한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원
jnoh@kwater.or.kr



이 상 옥 ▶▶▶

한국수자원공사 수자원연구원 연구원
lsu@kwater.or.kr



정 세 웅 ▶▶▶

충북대학교 환경공학과 조교수
schung@chungbuk.ac.kr

한 개략적인 하천수질을 예측하거나 혹은 갑작스런 수질사고에 대응하기 위한 flushing의 목적으로 방류량을 증가시켜 하류단 주요 취수시설에 대한 농도 변화를 예측하고 시설운영에 대한 의사결정을 지원하는 것을 골자로 한다. 이러한 수질모의 및 예측기술을 확보하여 유역단위 물관리기술에 적용하려면 댐하류 하천수질을 모의하고 평가할 수 있는 체계적인 시스템이 필요하다.

한국수자원공사 수자원연구원에서는 유역통합 물관리기술 확보의 일환으로 하천수질을 고려한 저수지의 효율적인 운영을 위하여 정상상태 모형인 Qual2E-Plus 모형과 동적수질 모의모형인 KoRiv1-Win 모형을 중심으로 한 하천수질예측 시스템을 개발, 금강 유역에 적용 중에 있다. 전자는 월별 또는 장기적인 저수지운영계획 수립을 위한 것이고 후자는 오염물질의 유출사고에 적절히 대응한 저수지 운영대책을 수립하기 위한 경우에 해당한다. 이 글에서는 이들 두 가지 하천수질모형의 구성과 적용사례에 대하여 소개한다.

1. 서 론

하천의 수량과 수질상황의 실시간 감시와 예측기술은 유역단위의 물 공급시스템 운영에 있어 자연재해, 용수부족, 수질사고 등의 긴급대처에 필요한 매우 중요한 기술이다(고익환 등, 2002). 특히 우리나라와 같이 연간 용수 사용량이 하천수 취수에 의존하는 비율이 높고 하천변에 산업시설과 하수처리시설이 다수 설치·운영되는 경우에 댐하류 하천의 수질관리를 고려한 저수지 운영이 매우 중요하다.

저수지운영에 있어 하천수질모의는 월별 저수지 운영계획 수립시 댐하류 방류량 산정을 지원하기 위

2. 수질예측 시스템의 요소모형

2.1 Qual2E-Plus 수질모형

정상상태 수질모의는 월별 저수지 운영계획을 수립하는 경우 댐 하류 방류량을 산정하고 산정된 방류량에 의한 하천의 수질을 개략적으로 파악함에 있어 유용하다. 이를 위하여 저수지 운영모형에서 최적 월 평균 방류량을 산정한 다음, 하류구간 주요 지점별 수질예측을 실시하고 이를 바탕으로 수량과 수질을

고려한 저수지 운영계획을 수립할 수 있게 된다. 이 모형은 일정한 방류량 및 수질조건이 하천으로 유입되는 가정하에 하천수질 변동을 해석하는 정상상태 수질모형이며, 균질한 수분지형 특성을 가진 하천구간에 대하여 적용한다.

개발된 Qual2E-Plus 모형은 US EPA의 Qual2E 모형의 입력자료와 호환성을 유지하면서 입출력자료처리에 대한 GUI환경을 구축함으로써 전처리 및 후처리기능을 강화함으로써 기존 모형의 단점을 크게 개선한 것이다. 모형의 구성은 기본적으로 자료입력창과 모의결과 확인창으로 구성되어 있으며, 모의를 위하여 대상 하천을 일련의 동일한 거리를 가진 계산요소 또는 검사체적으로 구분하고 각각의 속성을 입력해 줌으로써 하천의 특성을 정의해 주어야 한다.

그림 1에 제시한 Qual2E-Plus 모형의 자료입력창을 통하여 모의에 필요한 입력자료를 구성한다. 먼저 모의하고자 하는 대상 수질항목을 선정한 다음, 기후자료 및 온도보정 계수와 같은 상수항들에 대하여 정의하고 하천의 흐름특성을 나타내는 유량-유속, 유량-수위 관계식으로부터 산정된 계수와 Manning의 조도계수와 함께 수질모의에 필요한 반응계수도 함께 입력해 준다. 최상류단 및 지류별 유량 및 수질자료를 구성하고 모형을 수행하면 왼쪽 하단의 Output 창이 활성화 되면서 모의 결과를 수질

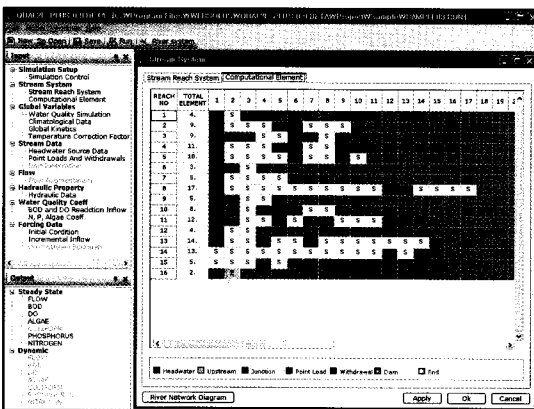


그림 1. Qual2E-Plus 모형의 모의자료 입력창

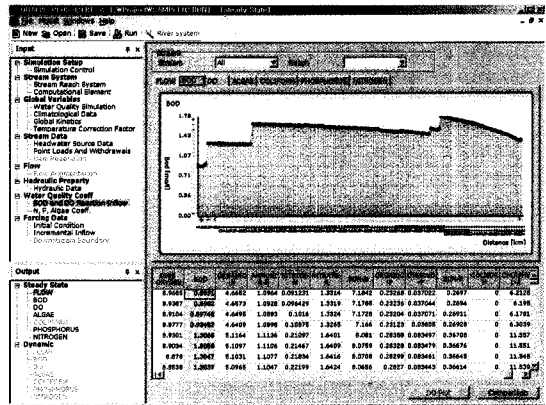


그림 2. Qual2E-Plus 모형의 모의결과 조회창

항목별로 확인할 수 있다. 그림 2에서는 Qual2E-Plus 모형의 수행결과 조회창을 통하여 그래프와 수치로 동시에 보여주고 있으며 여기서 그래프의 x축은 댐으로부터의 거리를 y축은 계산된 수질인자별 농도를 나타낸다.

2.2 KoRiv1-Win 수질모의모형

KoRiv1-Win 동적수질모형은 저수지 방류에 의한 하천의 비정상적(Unsteady) 흐름특성을 모의할 수 있고 이에 따른 동적인 수질변동 해석이 가능하여 정상상태 수질모형에서 다루지 못하는 비정상적 수질모의를 수행할 수 있다.

모형은 미 공병단에서 개발한 CE-Qual-Riv1모형을 기반으로 작성하였으며, 수리해석을 위하여 St. Venant 연속 및 운동량 방정식을 4점 음해적(implicit) 유한차분법으로 해석, 유량, 유속, 단면적, 수위와 같은 흐름의 물리적 특성을 예측하고 그 결과를 수질해석모듈의 입력자료로 전달하여 수질모의를 수행한다.

한편 수질해석을 위해서는 수질해석시 계산된 결과를 바탕으로 Holly-Preissman 방법을 적용하여 이송 및 확산항을 분리처리 함으로써 수치적 안정성을 확보함과 동시에 각 수질인자별 반응계수를 이용

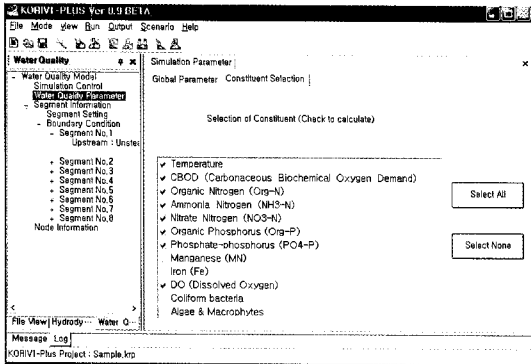


그림 3. Korivi1-Win 모형의 자료입력

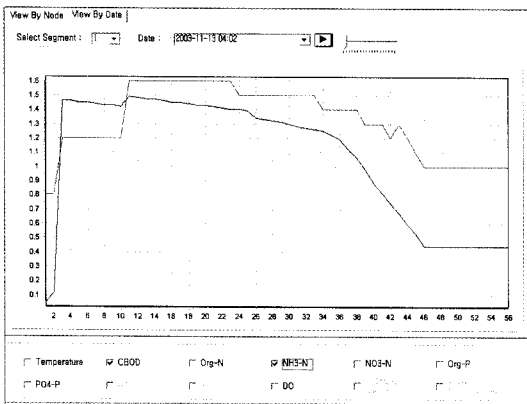


그림 4. 수리 및 수질해석결과 확인창

하여 12가지 수질항목에 대한 모의가 가능하다.

이 모형은 입력자료 준비를 위한 자료의 전처리 과정, 수리 및 수질해석 모듈, 결과 조회를 위한 후처리 과정으로 구성되어 있다. 전처리과정에서는 그림 3에 제시된 자료입력창을 통하여 수리 및 수질모의에 필요한 자료를 입력하고 수리 및 수질해석을 수행한 다음 후처리과정에서는 그림 4에 제시된 것처럼 대상하천의 시, 공간적 수리 및 수질해석결과를 그래프와 테이블을 통하여 확인할 수 있다.

이 외에도 모의결과를 애니메이션 기능으로 표현 가능할 뿐만 아니라 시나리오기능을 이용하여 다양한 저수지운영에 따른 수질변화패턴을 서로 비교할 수 있다.

3. 수질예측모형의 적용

3.1 정상상태 모형을 이용한 월별수질해석

Qual2E-Plus모형을 이용하여 금강수계를 용담-대청 구간과 대청-하구둑 구간으로 구분하여 모형을 구축하였다. 오염총량보고서를 기준으로 수계별 배출 부하량을 산정하고 이를 기반으로 2004년부터 2006년 상반기까지의 월별 수질모의를 수행하였으며 실측치와 비교 검증을 실시하였다. 모의결과 연중 수질이 가장 악화되는 시점은 4, 5, 6월에 해당함을 알 수 있었고 이 시기에는 농업용수 공급으로 인하여 저수지 방류량이 증가됨에도 불구하고 계절적 특성으로 인한 수질문제가 심각해짐을 알 수 있었다.

그림 5에는 각 수계별로 산정된 오염부하량을 기준으로 수질모의를 수행하는 절차에 대하여 기술하였으며, 그림 6에는 2006년 3월의 모의결과를 제시하였다. 용담-대청구간의 경우 거의 1등급 수준의 수질이 대청댐 유입지점까지 확보됨을 확인할 수 있었고, 대청댐하류 구간에 대해서는 대전, 청주등의 대도시가 위치해 있는 갑천과 미호천이 금강본류 전체구간에 대하여 지배적인 오염원으로 작용함을 알 수 있었다.

구축된 모형을 이용하여 대청댐 유입지점과 공주 및 부여등 주요지점에 대한 수질변동을 예측하고 실측자료와 비교하는 검토정 작업을 통하여 모형의 신뢰성을 높였으며 이들 주요지점의 수질예측을 통하여 저수지 운영모형과 연계한 적정방류량 산정에 활용된다.

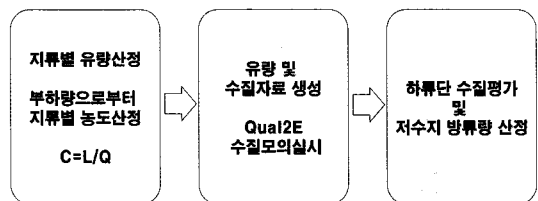


그림 5. 수질모의 수행절차

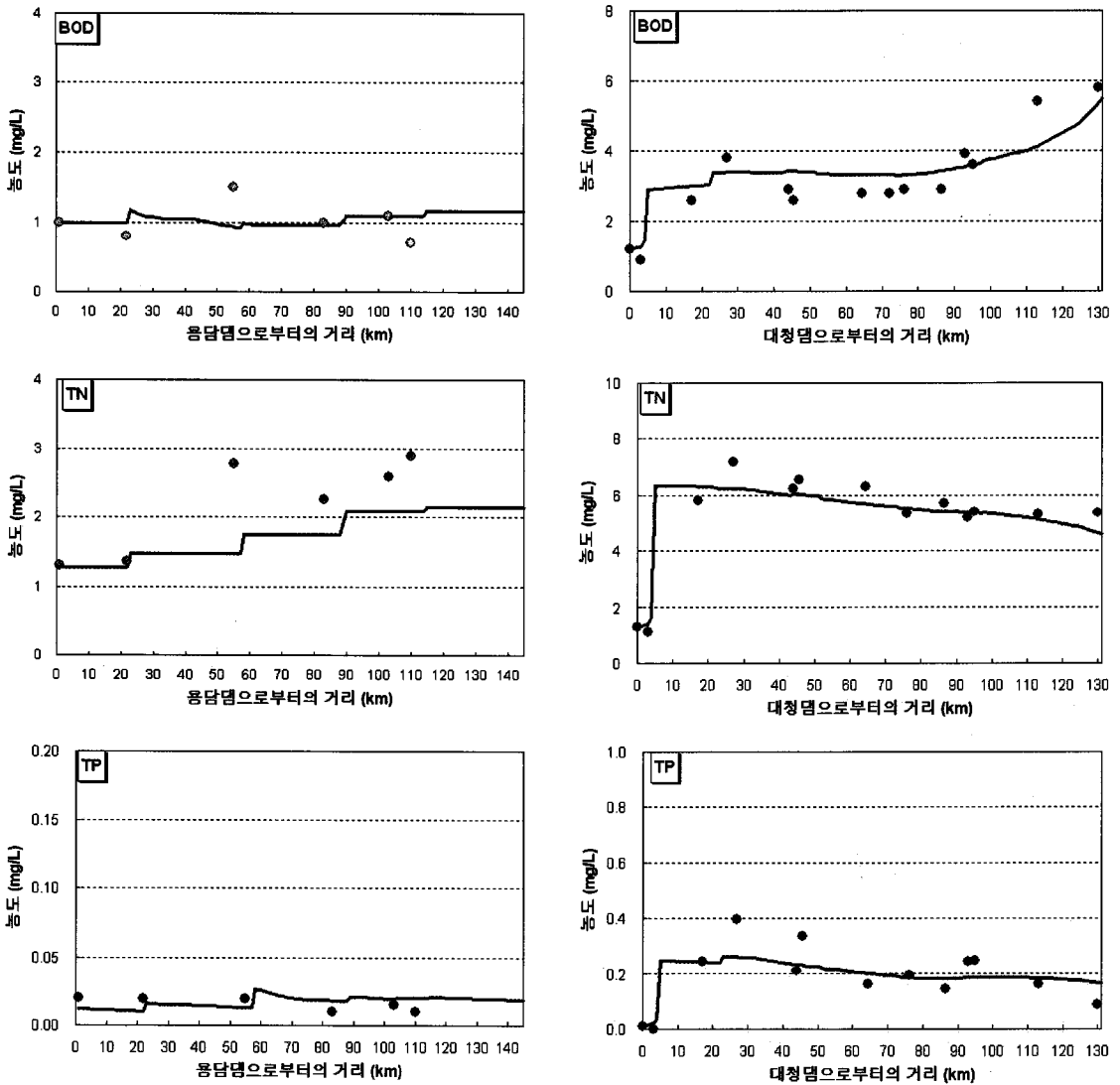


그림 6. 용담-대청구간 및 대청하류부 금강분류 수질모의 수행결과

3.2 동적수질모형을 이용한 취수장 운영지원

KoRiv1-Win 모형의 적용성을 검토하기 위하여 수질사고 발생시 금강 부여취수장 지점의 수질확보에 필요한 유량을 산정해 보았다. 갑천 하수처리장에서는 2004년 10월 31일 보수공사로 인하여 발생가능한 수질사고 발생시 수자원공사 물관리센터로 방류량 증가요청이 접수되었다. 이 기간 중에 방류될 무처리

방류수의 조건을 표 1에 제시하였으며, 모의에서 다루어진 사안은 대청댐 방류량을 증가시켜 취수장에서의 BOD농도저감 효과를 평가하는 데 중점을 두고 수행하였다.

대청댐으로부터 방류는 10월 31일 01:00 부터 11월 3일 01:00 시까지 총 72시간에 걸쳐서 실시한다고 가정하였으며, 대청댐의 수질기준은 BOD기준 1급수 수질기준을 적용하였다. 부여취수장은 저수지로

표 1. 모의조건

하수처리장 보수시간	무처리 방류량 (m ³ /s)	BOD (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)
2004/10/31 01:00~04:00	75	100	18

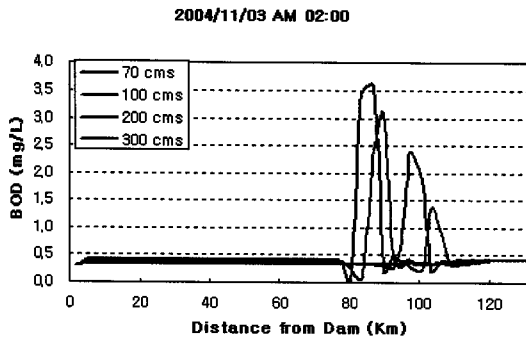


그림 7. 방류량 증가에 따른 하천수질 변동

표 2. 방류량 증가 대비 취수장 운영제한 시간

취수장 운영제한	대청댐 방류량 (m ³ /s)		
	100	200	300
기간(hour)	26시간	19시간	11시간
시간(Time)	11/02 09:00~ 11/03 11:00	11/01 17:00~ 11/02 12:00	11/01 12:00~ 11/01 23:00

부터 약 74km 지점에 위치해 있으며 그림 7에 제시된 모의수행 결과와 같이 방류량증가에 따른 수질개선효과를 확인할 수 있다. 그래프로부터 방류량이 증가할수록 첨두농도값이 감소되나 도달시간은 점차 빨라지는 것을 알 수 있는데, 이는 방류량 증가에 의한 유속상승으로 하류단 희석효과가 보다 신속하게 나타남을 의미한다.

모의결과, 취수장의 운영제한을 시간대별로 살펴보면 10월 31일 01:00시에서 04시까지 상황발생을 기준으로 100 m³/s의 경우 26시간, 200 m³/s 일 때 19시간, 300 m³/s 일 때 11시간동안 BOD 2.0mg/L를 상회하는 것으로 나타났으며 표 2에 이들 결과값을 시간대별로 정리하여 제시하였다.

4. 결 론

한정된 유역의 수자원을 보다 효율적으로 이용하기 위하여 유역내 대용량 댐 저수지군 운영과 연계하여 하류하천의 수량과 수질을 고려한 통합물관리 운영시스템이 필요하다. 이러한 용도로 금강수계를 대상으로 구축된 하천수질예측 시스템에서 월별 저수지 방류량을 산정함에 있어 하류하천의 수질변동을 모의, 예측하기 위하여 Qual2E-Plus 모형이 개발되었고 오염물 유출과 같은 수질사고에 대비한 단기수질 모의를 위하여 KoRiv1-Win 모형이 개발되었다. Qual2E-Plus의 경우 월별 및 장기간 수질모의를 통하여 저수지 운영계획을 지원하기 위한 도구로 유용하고, KoRiv1-Win 모형의 경우 댐 하류구간의 갑작스런 수질사고에 대처하기 위한 목적으로 활용성이 높다. 뿐만 아니라 저수지 수질모형과 연계하여 저수지에 유입된 고탁수 조기배제시 탁수가 하류하천에 미치는 영향분석을 위한 도구로도 활용가능하다.

개발된 정상상태 수질모형을 이용한 월별수질 예측을 위하여 각 지류별 오염부하량을 산정하고 유역-유출모형과 연계, 지류별 유입농도를 산정하여 모형의 보정 및 검증작업이 완료됨에 따라, 저수지운영 모형과의 연계를 통하여 수질을 고려한 방류량 산정이 가능하다. 아울러 수질사고와 같은 단기수질변동에 대한 모의가 필요함에 따라 개발된 동적수질모형의 사례적용을 통하여 본 모형의 활용성을 입증하였다.

본 연구를 통하여 개발된 두가지 수질모형은 자료 입력과 결과조회 의 용이성을 확보하기 위하여 사용자 편의를 위한 GUI환경을 기반으로 구축되었으며, 향후 전국 5대강 유역으로의 기술이전 및 확산을 통하여 수량과 수질을 고려한 저수지 운영 의사결정에 활용될 것으로 기대된다. 또한 개발된 Qual2E-Plus 모형은 수자원공사가 ADB와 인도네시아 정부의 기술지원 요청으로 시행한 인도네시아 짜따람 유역 수질관리 프로젝트의 main tool로 적용한 바 있다.

감사의 글

본 연구는 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비지원(과제번호:1-6-3)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 고익환, 정세웅 (2002). “통합수자원관리 기반기술 구축방안(II)-우리나라의 하천유역 통합물관리 기반기술 구축방안”. 한국수자원학회지, 35(6), pp. 71-78.
- 고익환, 노준우, 김영도 (2005). “정상 및 비정상상태 하천수질모형의 비교”, 수자원학회논문집, 38(6), pp. 941-949.
- 서동일, 이종현, 이은형, 고익환 (2004b). “QUAL2E를 이용한 금강하류의 수질 모델링 및 오차 원인 분석”, 대한환경공학회지, 26(8), pp. 933-940.
- 정세웅 (2004). “저수지 플러싱 방류 효과분석을 위한 비정상상태 하천수질모형의 적용.” 한국수자원학회논문집, 37(10), pp. 857-868.
- 한국수자원공사 (2007). 유역 물관리 운영기술개발 : 21세기 프론티어 연구개발사업보고서 1-6-2.
- Chapra S.C. and Pelletier G. (2003). QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality Documentation and Users Manual. USEPA, Env. Res. Lab., Athens, GA
- 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
- 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