

시험유역의 운영을 통한 하천관리시스템의 개발

Development of River Management System with Operation of an Experimental Watershed

김 상 호*⁺ / 최 흥 식** / 이 을 래***

Sang Ho Kim*⁺ / Hung Sik Choi** / Eul Rae Lee***

:: Abstract ::

River Management System was developed to achieve water quality analysis that reflects physical characteristics of river flow. The Gyecheon basin which is located at the upstream of Hoengseong dam was selected as an experimental watershed and hydrologic and water quality monitoring network was set up for acquisition of real time data. The observed data have been stored in the system until present. The hydraulic and water quality models were constructed for an experimental watershed, and the calibration and verification was performed using past flood events and observed water quality data. Graphic User Interface(GUI) was developed with ArcView in a study area. Developed system can be effectively used to water quality monitoring and management in Hoengseong Lake.

Keywords: River management, Experimental watershed, Water quality management, Hoengseong dam

:: 요 지 ::

본 연구에서는 하천흐름에 대한 물리적인 특성을 반영한 수질해석을 실시할 수 있는 하천관리시스템을 개발하였다. 횡성댐 상류 계천유역에 시험유역을 선정하여 수문관측과 수질관측을 실시할 수 있는 체계를 구축하였으며, 현재까지 지속적인 관측을 통해 자료를 축적하고 있다. 대상구간에 대한 수리해석모형과 수질해석모형을 구축하고, 과거 홍수사상과 수질관측자료들을 이용하여 모형의 보정과 검증을 실시하였다. 대상구간에 ArcView를 이용한 GUI를 구축함으로써 횡성호의 수질감시 및 수질관리를 보다 효율적으로 수행할 수 있을 것이다.

핵심용어 하천관리, 시험유역, 수질관리, 횡성댐

+ To whom corresponds should be addressed. kimsh@mail.sangji.ac.kr

* 상지대학교 건설시스템공학과 조교수

** 상지대학교 건설시스템공학과 부교수

*** 한국수자원공사 물관리센터 선임연구원

1. 서론

산업기술과 경제가 발달함에 따라 환경에 대한 가치는 날로 변화하고 있다. 1960, 70년대 치수 위주로 설계되어 홍수방지에 급급했던 하천은 최근 들어 환경가치에 대한 비중이 높아지면서 방재기능과 함께 자연형 하천 또는 생태 하천으로 불리는 친환경 기능에 중점을 둔 하천으로서의 기능을 요구받고 있다. 하지만 하천의 외적구성이 친자연형 하천의 모습을 회복하더라도 하천 수질이 깨끗하지 않고서는 인간으로부터 환영받는 하천이 될 수는 없을 것이다.

1994년 낙동강에서의 수질오염사고 이후로 하천에 대한 상시 수질감시체제와 조기경보체제에 대한 필요성이 대두되었다. 이로 인해 전국 주요 상수원과 오염사고 취약지구에 상시로 수질을 관리할 수 있는 수질자동측정망이 구축되었으며, 현재 한강유역에는 양평, 가평, 경안천, 구리, 원주, 여주, 평창강, 달천 등의 8개소에서 운영되고 있다. 하지만 수질측정지점에서 수질자료와 함께 수량에 대한 정확도 높은 자료를 얻기란 쉽지 않은 실정이다. 또한 하천의 효율적인 수질관리와 하천환경의 회복을 위한 정책수립을 위해서는 하천의 수위나 유량의 변동에 관한 충분한 자료가 수질자료와 함께 구축되어야만 가능할 것이다.

최근 국내에서는 하천의 수질해석을 위한 연구가 비교적 활발히 진행되고 있는데, 백경원 등(1995)과 오경두 등(1996)은 각각 한강 하류부와 북한강 본류에 QUAL2E 모형을 적용하여 수질해석을 실시하였으며, 김용구 등(2002)과 김경섭 등(2004)은 탐진강과 안양천 유역에 QUAL2E 모형을 적용하였다. 고익환 등(2005)은 정상상태 모형인 QUAL2E 모형과 비정상상태 모형인 CE-QUAL-RIV1 모형을 대청댐 하류 금강본류에 동일한 모의조건을 적용하여 결과에 대한 비교분석을 실시하였으며, 박성천 등(2005)은 영산강의 수위관측망 자료와 수질관측망 자료를 이용하여 수질모형을 구축하고 장래수질예측을 실시하였다. 하천 수질에 대한 2차원적

해석사례를 살펴보면 한건연 등(2000) 낙동강 중류부에 2차원적 수질해석을 실시하기 위해 GIS와 연계한 수질관리모형을 개발한 바 있으며, 김상호와 한건연(2000)은 유한요소법을 이용하여 낙동강 유역에 대한 2차원 수질해석을 수행하였다.

시험유역의 운영을 통해 수질관측과 분석을 실시한 연구로는 이종태(1998)가 도시하천에 대한 유출 및 수질특성을 분석하기 위해 홍제천 시험유역을 대상으로 실시한 바 있으며, 김상민과 박승우(2004)는 발안시험유역을 대상으로 유역 오염총량관리를 위한 HSPF 모형을 적용하여 분석한 바 있다. 하지만 하천의 수위 및 유량관측과 수질관측을 동시에 실시하여 종합적인 관측체계를 구축하고 실시간 개념의 수질모의를 수행할 수 있는 체계의 구축을 위한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 하천 수질의 변화를 보다 정확하게 예측하기 위해 수질관측지점에 대한 지속적인 수문관측을 실시하고, 이를 통해 하천 흐름에 대한 물리적인 특성을 반영한 수질해석을 실시하고자 한다. 이를 위해 강원도 횡성군의 남한강 제1지류인 섬강에 위치한 횡성댐 상류의 계천유역에 시험유역을 구축하여 대상구간에 대한 실시간 수리해석과 수질해석을 수행할 수 있는 수질관리시스템을 구축하고자 하였다.

2. 시험유역 개요

횡성댐 상류에 위치하고 있는 본 시험유역은 남한강의 제1지류인 섬강의 최상류부에 위치하고 있는 지방2급 하천인 계천유역으로 그림 1에서 보는 바와 같이 계천(소군교)과 유동천(농거리교)이 합류하는 부채꼴 형상의 유역으로 구성되어 있다. 대상유역의 지형은 대체로 만장년기 지형으로서 주로 산지로 형성되어 있으며, 유역면적은 횡성댐 지점을 기준으로 209.0km²이고 유로연장은 37.0km이며, 매일수위국은 유역면적이 164.72km²이며 유로연장은 22.41km이다. 횡성

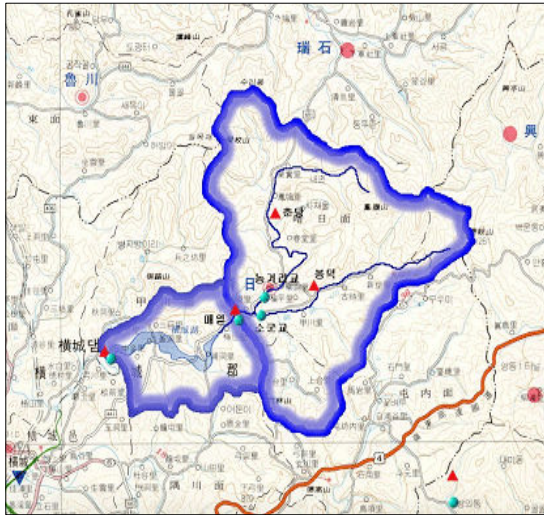


그림 1. 시험유역의 유역도

댐 상류인 계천의 하상 대부분은 호박돌과 자갈 섞인 모래로 구성되어 있고, 하상경사가 비교적 급한 산지하천의 특성을 나타내고 있으며, 지점간 하폭의 변화도 심하게 나타나고 있다. 표 1은 주요 지점에 대한 지형 특성을 나타내고 있다.

섬강 시험유역은 2000년 횡성댐이 완공된 후 매일수위국을 중심으로 수문관측을 시작하였으며, 2002년 3월부터는 매일수위국의 상류인 농

거리교와 소군교 지점에서 수위관측을 실시하고 있으며, 2004년 3월에는 매일수위국에서 수질관측을 함께 실시하고 있다. 그림 2는 시험유역 내 주요 수위관측지점인 매일수위국, 농거리교 및 소군교 지점의 전경을 나타내고 있다.

3. 수리/수질관리시스템의 구축

3.1 수문/수질관측시스템

섬강 시험유역에는 3곳의 우량관측소와 3곳의 수위관측소가 설치되어 있으며, 이중 매일수위국은 수질관측을 병행하고 있다. 우량과 수위의 상시 자료 확인 및 관리를 위한 실시간 우량-수위 관측시스템은 PCS 이동통신을 근간으로 하는 무선 인터넷을, 그리고 매일수위국의 수질관측시스템은 통신모뎀의 설치를 통한 유선 인터넷을 이용하여 실시간 모니터링 시스템을 구축하였다. 여기서 우량-수위 관측시스템은 우량 및 수위 센서의 자료를 TCP-RT 계열의 데이터로거에 저장하고, 저장된 데이터는 무선 인터넷을 이용하여 서버컴퓨터에 TCP/IP 프로토콜을 사용하여 전송하게 된다. 또한 필요한 경우 관리자가 현장

표 1. 유역내 주요 지점별 지형 특성

지점명	유역면적 A=km ²	유로연장 L=km	형상계수 A/L ²	유역평균경사
농거리교	76.06	18.81	0.21	1/69
소군교	80.26	14.39	0.39	1/68
매 일	164.72	22.41	0.33	1/60
횡성댐	209.0	37.0	0.15	1/90



(a) 매일 수위국



(b) 농거리교



(c) 소군교

그림 2. 시험유역내 수위관측소 전경

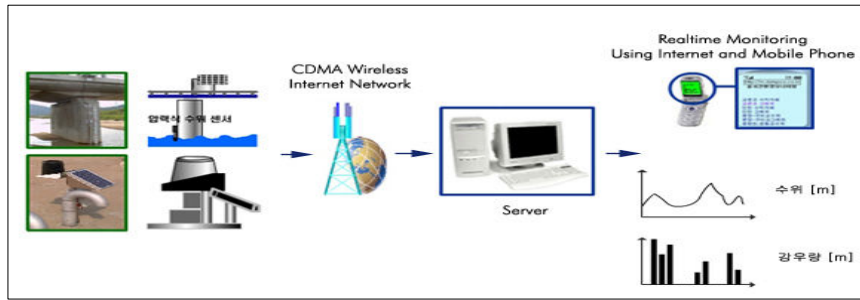


그림 3. 실시간 수문 관측시스템의 개념도

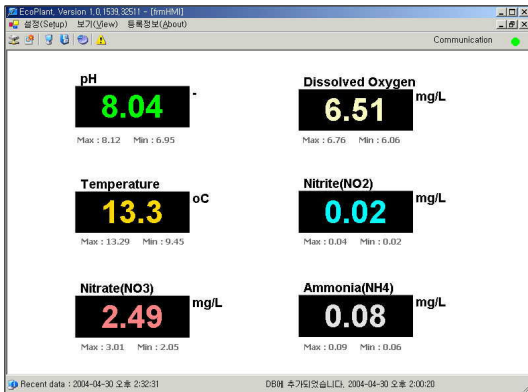


그림 4. 수질관측시스템의 수질자료 수신화면



그림 5. 수질관측시스템에 대한 웹 구축 화면

시스템에 접속하여 제어할 수 있도록 양방향 통신이 가능하게 설정되어 있다. 서버컴퓨터로 전송된 자료는 D/B 구축과 인터넷 서비스는 물론, 개인 휴대폰으로 자료 확인이 가능하도록 단문서비스와 무선인터넷서비스도 제공하게 되며, 이에 대한 개념도는 그림 3과 같다. 그림 4는 수질관측소에서 실시간으로 전송되는 수질자료를 받기 위한 수질관측시스템의 수신 프로그램 주화면을 나타내고 있으며, 그림 5는 웹에서 구축된 실시간 수질관측시스템의 초기화면으로서 인터넷을 통해 상시로 하천의 수질상태를 확인할 수 있다.

3.2 수리/수질해석모형

본 절에서는 계천 시험유역에 대한 수리해석 및 수질해석을 실시하기 위해 대상구간을 설정하고, 모형의 구축을 통해 보정과 검증을 실시하였다. 먼저 하천의 동수역학적 흐름해석을 위한 수치모형은 하도에서의 홍수해석을 위해 동역학적 흐름 방정식을 4점 음해기법(four-point implicit

method)에 의한 유한차분해석을 실시하여 그 해를 구하게 된다. 이와 같은 홍수와 해석을 위한 Saint-Venant 식은 식 (1), (2)의 연속방정식과 운동방정식으로 구성된다.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial(A+A_0)}{\partial t} - q_L = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e \right) + L = 0 \quad (2)$$

여기서 x 는 하천의 흐름방향거리[L], t 는 시간[T], Q 는 유량[L³T⁻¹], A , A_0 는 각각 흐름단면적[L²]과 저류단면적[L²], h 는 수위[L], q_L 은 제방을 통한 범람량[L²T⁻¹], L 은 범람량에 의한 운동량의 영향으로서 $L = -q_L V_L$ [L³T⁻²]로 표시되며 V_L 은 범람량의 유속[LT⁻¹]이다. S_f , S_e 는 각각 마찰경사와 단면변화에 따른 손실경사의 항이다. 식 (1), (2)의 수치해를 구하기 위해서 유한차분기법 중 시간가중치 θ 를 도입하여 음해적

으로 해석하는 Preissmann 기법을 적용하여 비선형방정식이 유도되며, 이에 대한 해를 구하기 위해 반복 계산법의 하나인 Newton-Raphson 방법을 사용하게 된다.

흐름해석과 함께 하천에서의 수질해석을 위해 본 연구에서는 현재 하천수질을 모의하기 위한 모형 중에서 가장 광범위하게 이용되고 있는 QUAL2E 모형을 사용하였다. QUAL2E는 Texas Water Development Board(1970)에 의해서 개발된 이후 수년 동안의 개선을 통해 현재 “개선된 QUAL-II 모형” 또는 QUAL2E 모형(Brown과 Barnwell, 1987)으로 알려져 있으며, 이것은 EPA의 CEAM(Center for Exposure Assessment Modeling)에서 계속 유지 관리되고 있다.

이 모형은 횡방향과 연직방향으로 잘 혼합된 수지상 하천에서 15가지의 수질항목을 모의할 수 있다. 이 모형의 많은 기능 가운데에서도 다중 폐수 방류조건, 취수, 지류유입, 증분된 유입 유량과 유출유량 등을 처리할 수 있다.

QUAL2E 모형은 각각 균질의 수문지형 특성을 가진 하천구간을 다루게 되며, 각 구간은 일련의 동일한 거리를 가진 계산요소 또는 검사체적으로 나누어진다. 식 (3)과 같은 질량평형방정식을 통해 수질항목을 계산하게 되며, 이 식에서 우측에 있는 항들은 각각 확산과 이송에 관한 물

질이동, 수질인자의 반응동역학, 생성/소멸을 의미하고 있다.

$$V \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial(A_c E \frac{\partial c}{\partial x})}{\partial x} dx - \frac{\partial(A_c U c)}{\partial x} dx + V \frac{dc}{dt} + s \quad (3)$$

여기서, V 는 체적[L³], c 는 오염물 농도[ML⁻³], A_c 는 계산요소의 단면적[L²], E 는 종 확산계수[L²T⁻¹], x 는 거리[L], U 는 평균유속[L²T⁻¹] 그리고 s 는 오염물의 외부적인 생성/소멸항[MT⁻¹]을 의미한다.

먼저 실시간 수리해석모형을 적용하기 위해 그림 6에서 보는 바와 같이 계천의 상류인 소군교를 상류단으로, 유동천의 농거리교를 지류의 상류단으로 설정하였다. 대상구간의 하류단은 황성댐으로 총 16.2km로 구성하였다. 대상구간 내에는 농거리교, 소군교와 매일수위국에 실시간으로 하천수위를 측정할 수 있는 수위계가 설치되어 있으며, 매일수위국에는 수온, pH, DO, NO₂-N, NO₃-N, NH₃-N 등의 수질요소를 측정할 수 있는 수질관측시스템이 설치되어 있다. 그림 6의 지점번호는 정기적인 수질측정을 실시한 측정점 나타내고 있다.

대상구간에 대한 하상자료는 황성댐 수리검토 용역 보고서(황성군, 2000)와 계천 하천정비기본 계획 보고서(강원도, 2000)를 참고하였다. 하지만

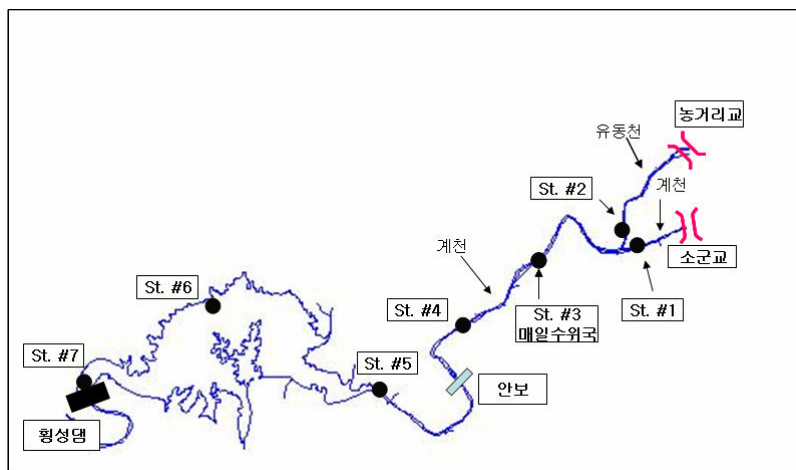


그림 6. 계천 시험유역에 대한 유역도

대상구역에서는 2000년 이후 수차례 홍수가 발생하였으며, 이로 인한 하상의 변화가 적지 않았기 때문에 소군교와 농거리교에서부터 매일교 하류까지 4.3km 구간을 200m 간격으로 직접 측량을 실시하여 보다 정확한 하도자료를 구축하였다. 대상구간에 대한 수질해석을 위해 수리학적 모형의 분석을 통해 유사한 경향을 가지는 것으로 판단되는 10개의 구간(Reach)으로 구분하였으며, 각 구간은 200m 간격의 요소(element)로 구성하였다. 그림 7은 수질해석을 위한 대상구간의 모식도를 나타내고 있다.

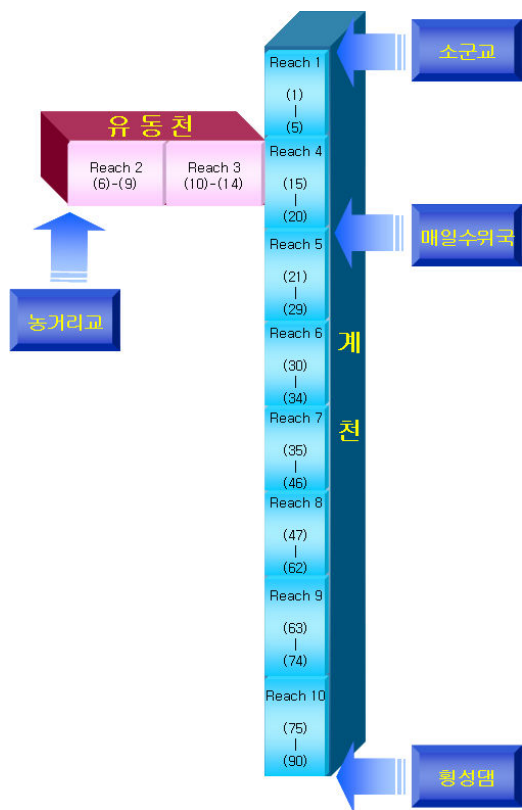


그림 7. 수질해석을 위한 계천 시험구역의 모식도

3.3 수리해석모형의 적용

계천 시험구역에 대한 수리해석모형을 적용하기 위해 표 2와 같이 2003년부터 2004년까지 발생한 5개 홍수사상에 대해 적용하였다. 표에서 보는 바와 같이 2003년도에 발생한 홍수사상은

3개 모두 매일수위국에서 188.50m~188.83m의 범위를 나타내고 있었으며, 2004년도에는 189.11m~189.45m로 2003년도보다 최고 0.62m 정도 높은 홍수위를 나타내었다.

표 2. 계천 시험구역에 대한 홍수사상

홍수사상	매일수위국		모의시간 (hr)
	최대홍수위 (m)	최대홍수량 (cms)	
2003년 7월 22일	188.50	243.80	37
2003년 8월 27일	188.83	342.35	23
2003년 9월 07일	188.80	332.32	26
2004년 7월 12일	189.45	582.45	53
2004년 7월 16일	189.11	437.44	39

그림 8~13은 2003년에 발생한 3개 사상에 대해 매일수위국에서의 모의결과와 실제 측정된 수위, 유량자료와 비교한 그림을 나타내고 있다. 이 가운데 수위에 대한 모의결과를 살펴보면 적용된 사상 모두 첨두홍수위가 실측값과 잘 일치하고 있으며, 전체적인 경향도 매우 잘 맞고 있는 것으로 나타났다. 하지만 유량모의 결과를 살펴보면 시간별 유량의 변화추이는 비슷하게 나타나고 있지만, 첨두홍수량은 세 사상 모두 차이를 보이고 있었다. 이러한 차이는 매일수위국에서 유량측정을 통해 개발된 수위-유량관계곡선의 고수위 부분에 대한 정확도가 떨어지기 때문인 것으로 판단되며, 수위-유량관계곡선에 대한 개선이 필요할 것으로 사료된다.

그림 14~17은 2004년도에 발생한 홍수사상에 대한 모의결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 두 사상에 대한 수위결과를 살펴보면 첨두수위가 각각 0.81m와 0.71m의 오차가 발생하였지만, 전체적으로 홍수위의 변화양상을 잘 재현하고 있었다. 유량에 대한 모의결과에서도 전체적으로 실제 유량의 변화를 잘 재현하고 있었다. 표 3은 각 사상별로 모의된 수위결과와 실측 수위자료와의 RMS 오차 분석결과를 나타내고 있다.

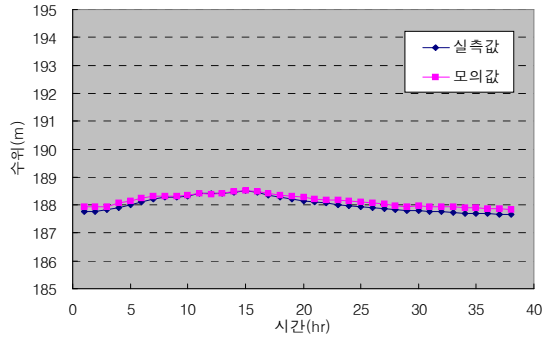


그림 8. 03년 7월 22일 사상의 수위 비교

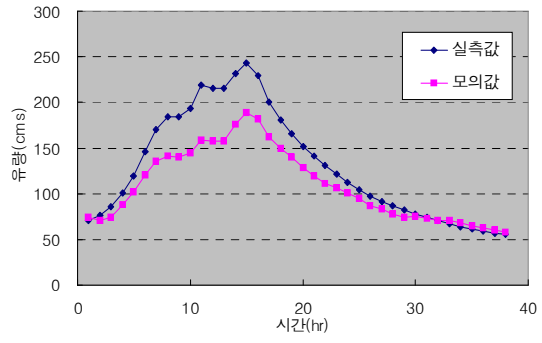


그림 9. 03년 7월 22일 사상의 유량 비교

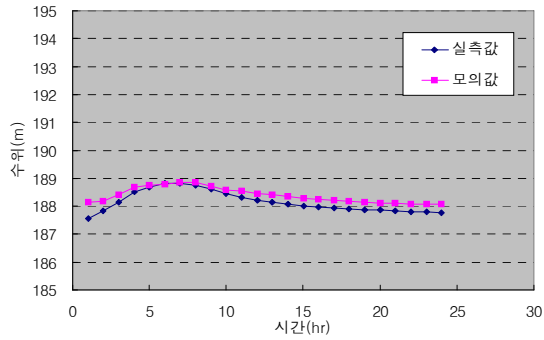


그림 10. 03년 8월 27일 사상의 수위 비교

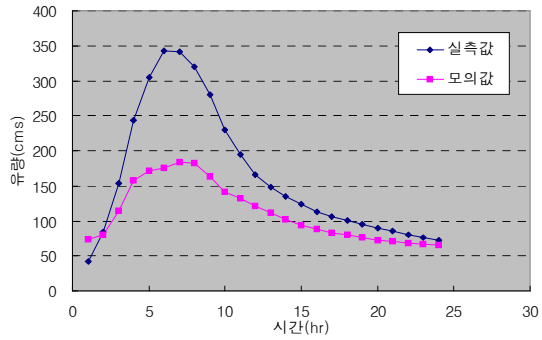


그림 11. 03년 8월 27일 사상의 유량 비교

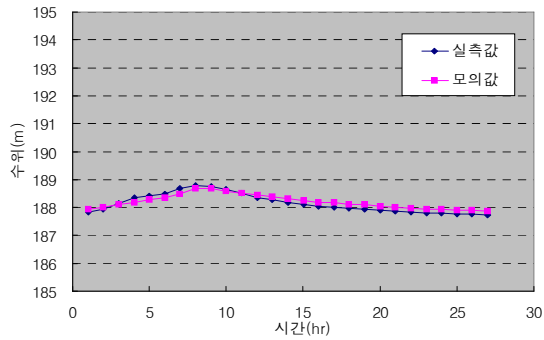


그림 12. 03년 9월 7일 사상의 수위 비교

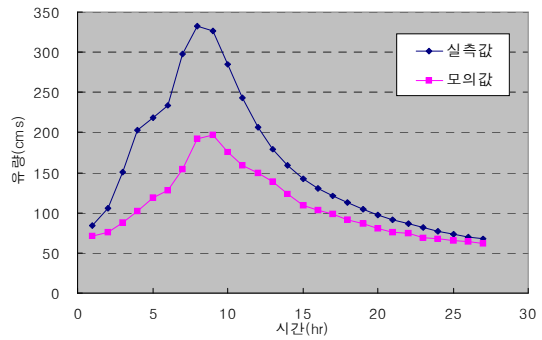


그림 13. 03년 9월 7일 사상의 유량 비교

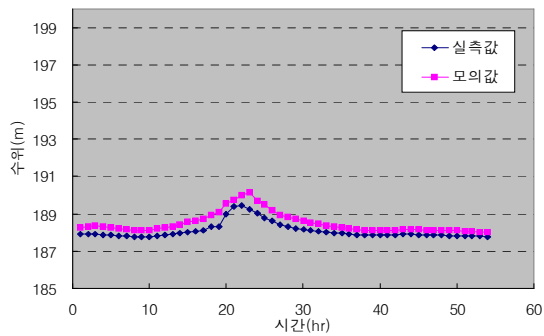


그림 14. 04년 7월 12일 사상의 수위 비교

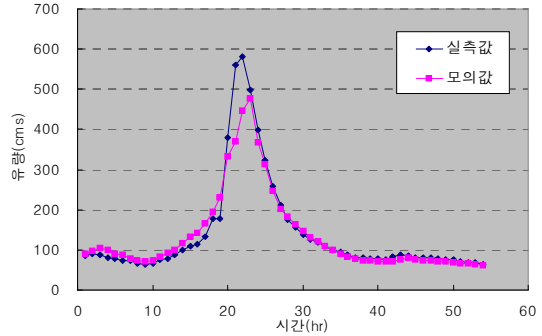


그림 15. 04년 7월 12일 사상의 유량 비교

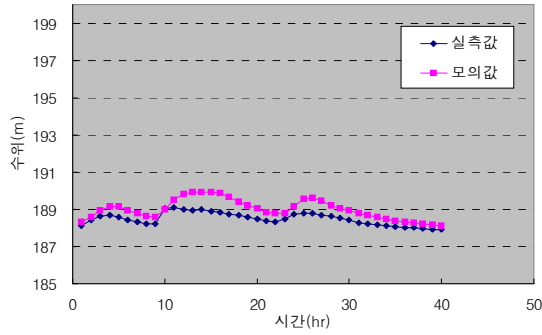


그림 16. 04년 7월 16일 사상의 수위 비교

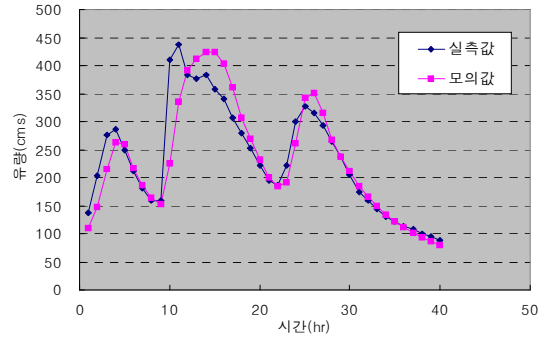


그림 17. 04년 7월 16일 사상의 유량 비교

표 3. 매일수위국에 대한 RMS 오차 분석결과

홍수사상	최대홍수위		RMS 오차 (m)
	실측값(m)	모의값(m)	
2003년 7월 22일	188.50	188.52	0.136
2003년 8월 27일	188.83	188.84	0.154
2003년 9월 07일	188.80	188.69	0.131
2004년 7월 12일	189.45	190.16	0.434
2004년 7월 16일	189.11	189.93	0.564

표 4. 시험유역 수질모의를 위한 측정자료

모의 사상	매일수위국					비고
	유량 (cms)	수위 (m)	수온 (°C)	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	
03년 9월 5일	36.35	1.09	18.7	9.40	1.0	보정 사상
03년 11월 7일	0.97	0.65	10.6	10.80	1.4	
03년 12월 16일	1.21	0.57	1.6	9.78	0.7	검증 사상
04년 7월 7일	38.03	1.02	18.5	7.34	2.4	

3.4 수질해석모형의 적용

계천 시험유역에 대한 수질해석을 위해 그림 7에서와 같이 계천의 소군교와 유동천의 농거리 교를 상류단으로, 횡성댐 직상류부를 하류단으로 설정하여 총 16.2km를 대상구간으로 설정하였다. 대상구간에 대한 수질해석모형의 보정과 검증에 대해 표 4와 같이 현장에서 측정한 수질자료를 이용하였다.

시험유역에 대한 수질해석모형을 구축하기 위해서는 QUAL2E 모형에 필요한 유량계수를 산정하여야 한다. 이를 위해서 대상유역에서 2003

년과 2004년에 발생한 유량규모별 부등류 해석을 실시하고, 하도 내 각 지점에서의 수심, 통수 단면적, 유속, 경심 등의 자료를 이용하여 적절 범위에 대한 회귀분석을 통하여 유량계수 a , b , α , β 를 산정하였다. 각 구간별로 산정된 유량계수는 표 5와 같다. 여기서, 횡성댐의 저수위를 기준으로 부등류 해석을 수행하였을 때 구간 8부터는 배수위 영향을 받는 구간으로 흐름이 급격히 약해지는 것을 확인할 수 있다.

수질모형을 구성하고 있는 주요 매개변수들에 대한 최적 매개변수를 도출하기 위해 Broyden, Fletcher, Goldfarb 및 Shanno 등이 개발한 최

적화 알고리즘인 BFGS 기법을 이용하여 DO와 BOD에 주로 영향을 미치는 K_1 , K_3 , K_4 에 대한 최적반응계수를 표 6과 같이 도출하였다. 여기서 K_1 은 탈산소계수 [T^{-1}]를 의미하여, K_3 는 침전으로 인한 BOD의 손실률, K_4 에는 하상산소요구량 [$ML^{-2}T^{-1}$]을 의미한다.

그림 18~21은 표 4의 자료들에 대한 DO와 BOD의 모의결과를 나타내고 있다. DO의 모의결과를 살펴보면 황성호의 배수영향으로 하천흐름이 급격히 낮아지기 시작하는 구간에서부터 DO의 농도가 급격히 떨어지는 것으로 나타났으며, 실측자료와 비교해 보면 2003년 12월 16일 사상

표 5. 대상구간에 대한 유량계수

구간번호	a	b	α	β
1	0.5568	0.2598	0.3319	0.4538
2	1.2615	0.1889	0.1784	0.4955
3	0.1532	0.5207	0.9314	0.3058
4	0.6167	0.2532	0.1782	0.5153
5	0.3613	0.3506	0.2652	0.4138
6	0.1981	0.4048	0.2805	0.3739
7	0.3518	0.3042	0.186	0.4348
8	0.0019	0.9777	4.6836	0.0474
9	0.00001	1.4792	15.646	0.0001
10	0.00002	1.4467	24.946	0.00003

표 6. 대상구간에 대한 반응계수

구간번호	K_1	K_3	K_4
1	0.570	-0.100	3.200
2	0.338	0.330	1.091
3	0.338	0.330	1.091
4	0.215	-0.270	2.045
5	0.107	-0.119	1.958
6	0.155	-0.180	0.715
7	0.080	-0.100	0.415
8	0.040	-0.040	0.415
9	0.040	-0.040	0.315
10	0.040	-0.040	0.315

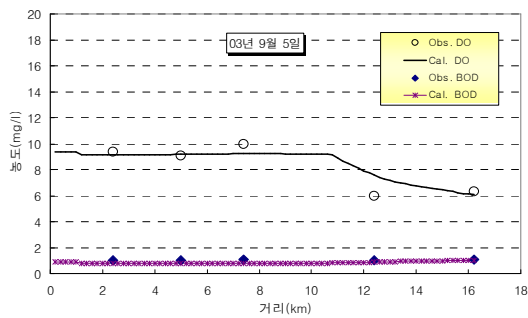


그림 18. 03년 9월 5일 사상의 모의결과

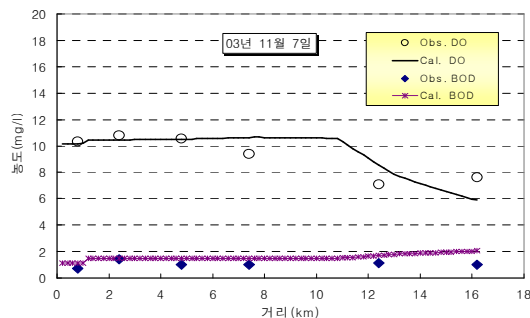


그림 19. 03년 11월 7일 사상의 모의결과

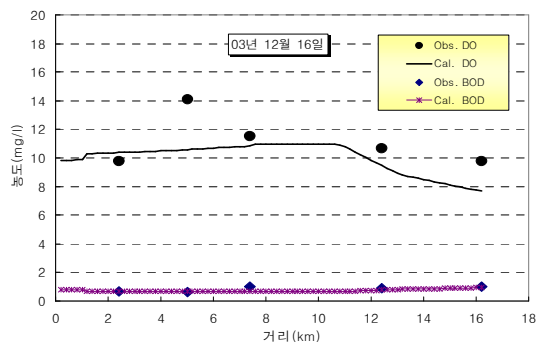


그림 20. 03년 12월 16일 사상의 모의결과

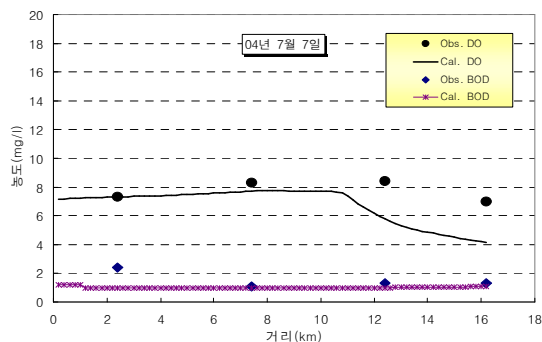


그림 21. 04년 7월 7일 사상의 모의결과

과 2004년 7월 7일 사상의 하류부 관측자료가 모의값보다 높게 나타났지만 전반적으로 실측값과 잘 일치하는 것으로 나타났다. BOD의 모의결과는 농도의 큰 변화없이 측정자료와 잘 일치하고 있었다. 대상구간에 대한 모의결과에서 황성호로 인해 하천 흐름이 급속히 느려지는 구간에서는 DO의 농도가 급격히 낮아지고 BOD의 농도는 조금씩 상승하는 경향을 나타내고 있었는데, 이와 같이 흐름이 급격히 낮은 구간에 대한 보다 정확한 수질모의를 위해서는 흐름속성에 대한 분석과 좀 더 많은 사상에 대한 모형의 검증이 필요할 것으로 판단된다.

3.5 실시간 하천관리시스템의 구축

계천 시험유역에 대한 수리학적 모형과 수질모형은 계천의 소군교와 유동천의 농거리교를 상류단으로 하고, 황성담 직상류부를 하류단 경계로 하여 모형을 구축하였다. 그러나 소군교와 농거리교에서는 수위자료만을 실시간으로 확인할 수 있으며, 수위-유량관계곡선을 이용하여 유량의 추

정이 가능하지만 수질의 변동상황을 현장방문을 통하지 않고서는 확인이 불가능한 상황이다. 따라서 시험유역에 대한 실시간 하천관리시스템을 구축하기 위해서는 실시간 수위관측시설과 수질관측시설이 함께 설치되어 있어야 하기 때문에 매일수위국을 상류단으로 설정하고 황성담을 하류단으로 선정하여 수리해석모형과 수질해석모형을 구축하였다. 대상구간은 13.9km이며, 대상구간에 대한 수리해석모형은 앞서 기술된 DWOPER 모형을 이용하여 구축하였으며, 수질해석모형은 QUAL2E 모형을 이용하여 소군교를 상류단으로 하였을 때와 동일한 유량계수와 수질반응계수를 사용하였다.

실시간 하천관리시스템을 대상구간에 구축하기 위해 수치해석모형과 지리정보시스템(GIS)을 연계하여 활용하여야 하는데, 이를 위해서 자료의 입력과 실행 및 출력이 가능하고, 모의결과에 대한 DISPLAY가 용이한 ArcView를 이용하여 GUI를 구축하였다. 그림 22는 본 연구에서 구축된 GUI에 대한 개념도를 나타내고 있다.

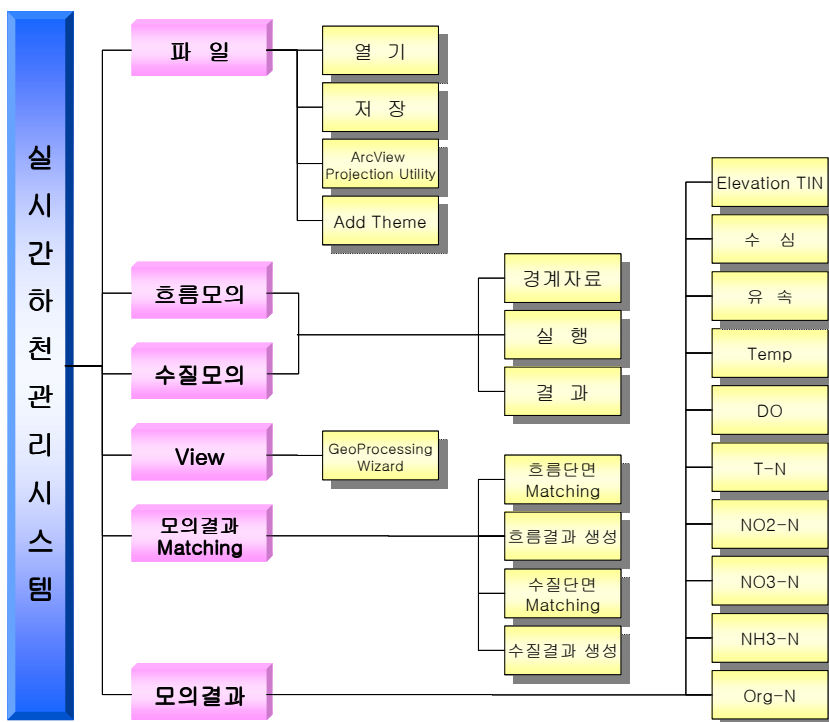


그림 22. GUI 구성을 위한 메뉴 설계

본 연구에서 개발된 GUI는 매일수위국에서 실시간으로 관측되는 수위자료와 수질자료를 이용하여 GUI 입력창에 직접 입력함으로써 수리모형과 수질모형을 수행할 수 있도록 구축하였다. 그림 23은 수리해석을 위해 상류단 경계조건인 매일수위국의 시간대별 유량자료와 하류단 경계조건인 황성댐의 수위자료를 입력하는 창을 나타내고 있다. 그림 24는 수질모의를 위해 매일수위국에서 관측되는 수질자료를 입력하는 창을 나타내고 있는데, 그림에서 보는 바와 같이 모의를 하고자 하는 시점에서 매일수위국의 유량과 수온, DO 및 N 계열의 수질자료를 입력하도록 되어 있다.

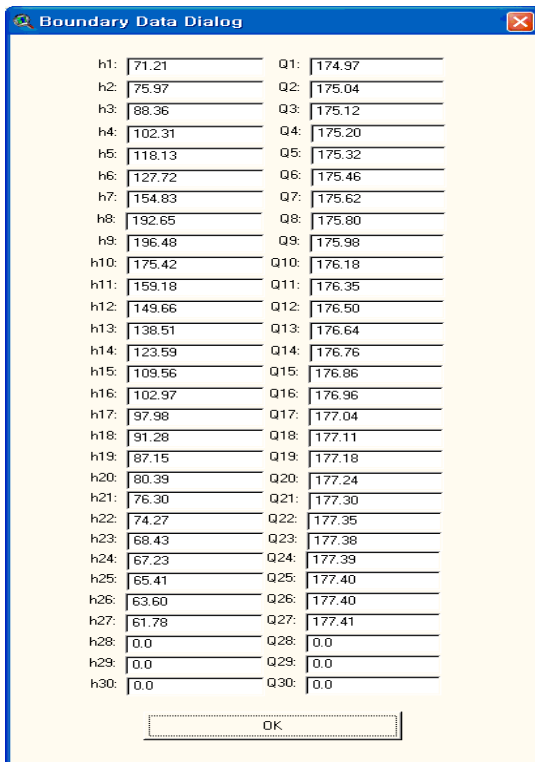


그림 23. 수리모형의 경계조건 입력 창

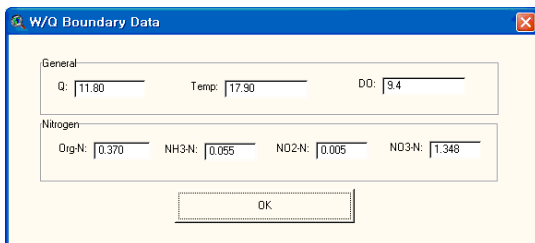


그림 24. 수질모형의 경계조건 입력 창

이와 같은 자료의 입력과정을 거쳐 수리모형과 수질모형을 실행하면 대상구간에 대한 수심, 유속과 같은 수리해석 결과와 수온, DO, N 계열의 수질해석 결과가 그림으로 나타나게 된다. 그림 25~26은 대상구간에 대한 DO와 NO₃-N에 대한 수질분포를 나타내고 있다. 이와 같이 GIS를 이용한 수리/수질해석결과의 도시는 대상구간에 대한 보다 효율적인 수질관리를 실시하는데 크게 기여할 것이다.

6. 결론

본 연구에서는 하천 수질의 변화를 보다 정확히 예측하기 위해 수질관측지점에 대한 지속적인 수문관측을 실시함으로써 하천흐름에 대한 물리적인 특성을 반영한 수질해석을 실시하고자 하였다. 이를 위해 강원도 황성군의 남한강 제1지류인 섬강에 위치한 황성댐 상류의 계천유역에 시험유역을 구축하여 대상구간에 대한 실시간 수리해석과 수질해석을 수행할 수 있는 하천관리시스템을 구축하였다.

본 연구를 통해 수행한 주요 연구내용은 다음과 같다.

1. 황성댐 상류에 위치한 계천의 소군교와 지류인 유동천의 농거리교를 상류단으로 하고, 황성댐 직상류부를 하류단으로 하는 16.2km를 대상구간으로 선정하여 각 지점에 대한 수위관측시스템을 구축하고, 이 가운데 매일수위국에 실시간으로 하천의 수질을 측정할 수 있는 수질관측시스템을 구축하였다.
2. 시험유역에서 실시간으로 측정되는 수리자료들을 이용하여 흐름해석을 실시할 수 있는 수리해석모형을 구축하였으며, 대상구간에 대한 수질해석을 위해 QUAL2E 모형의 유량계수를 산정하고 BFGS 알고리즘을 도입한 최적화 기법을 이용하여 수질해석모형을 구축하였다. 이와 같이 개발된 모형에

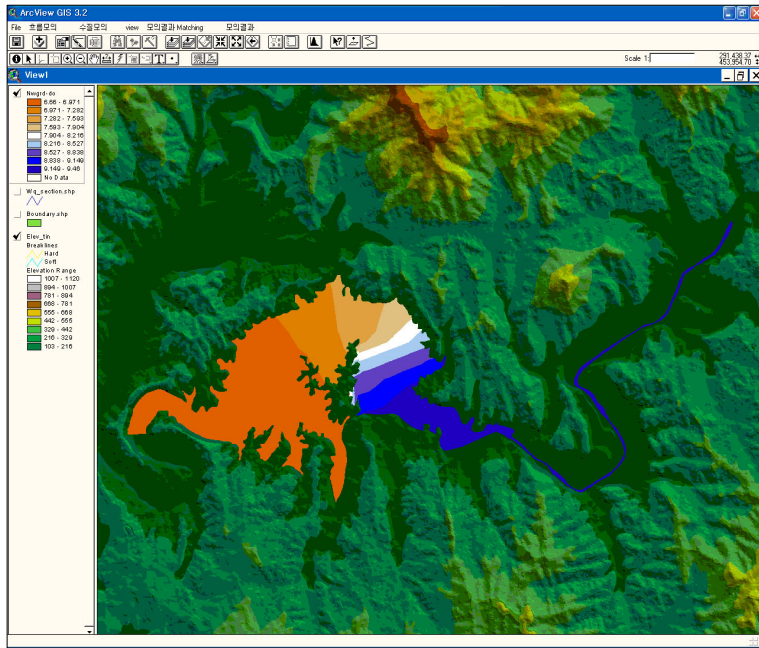


그림 31. 대상구간에 대한 DO 분포도

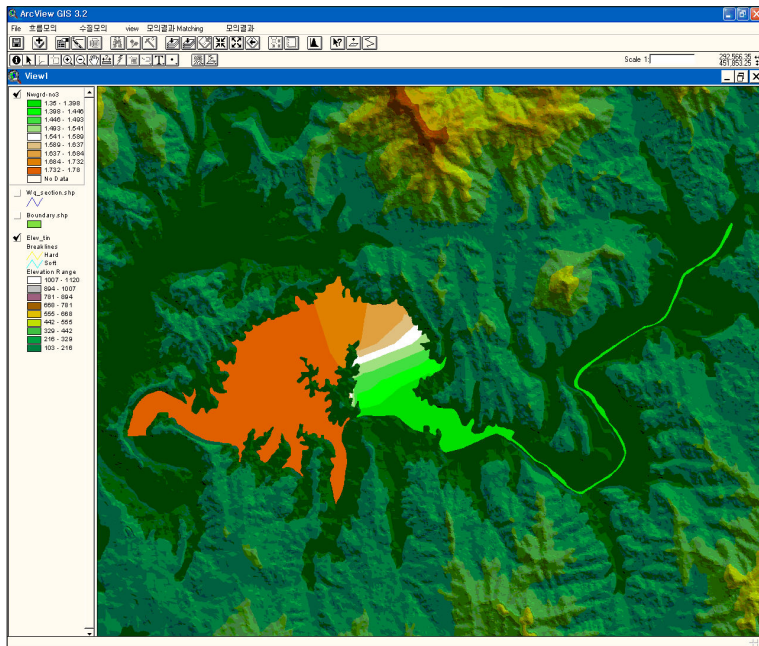


그림 32. 대상구간에 대한 NO₃-N 분포도

대해 실제 유역에서 측정된 자료들을 이용하여 모형의 보정과 검증을 실시하였다.

3. 계천 시험유역의 매일수위국에 설치된 실시간 수위관측시설과 수질관측시설을 이용하여 매일수위국을 상류단으로, 형성댐을 하

류단으로 하는 실시간 하천관리시스템을 ArcView를 이용하여 구축하였다. 실시간 하천관리시스템은 수리해석모형의 경계자료인 유량, 수위자료와 수질해석모형의 상류단 자료인 매일수위국의 수질자료를 입

력할 수 있는 사용자편의시스템(GUI)을 구축하여 모형을 보다 편리하게 이용할 수 있도록 하였다.

이와 같은 연구결과를 통해 매일수위국 하류 계천구간과 황성호에 대한 수질변동 양상을 실시간 하천관리시스템의 그래픽을 통해 쉽게 파악할 수 있어 보다 효율적인 수질관리를 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2003년도 상지대학교 교내 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구(과제번호:R08-2003-000-10923-0)에 의한 결과도 일부 활용되었기에 사의를 표합니다.

참고문헌

강원도 (2000). 계천하천정비기본계획.
고익환, 노준우, 김영도 (2005). "정상 및 비정상 상태 하천수질모형의 비교", 한국수자원학회 논문집, 제38권, 제6호, pp. 505-515.
김경섭, 윤동구, 이기영 (2004). "최소자승법에 의한 QUAL2E 모델 반응계수 보정", 한국수자원학회논문집, 제37권, 제9호, pp. 719-727.
김상민, 박승우 (2004), "농촌소유역의 오염부하 추정을 위한 HSPF 모형의 보정과 검증", 한국수자원학회논문집, 제37권, 제8호, pp. 643-

651.
김상호, 한건연 (2000). "유한요소법에 의한 낙동강유역에서의 2차원 수질해석", 대한토목학회 논문집, 제20권, 제4B호, pp. 525-533.
김용구, 하수정, 이한민, 박성천 (2002). "진화알고리즘을 이용한 QUAL2E 모형의 반응계수 추정", 2002년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 461-466.
박성천, 김용구, 노문수 (2005). "관측망 자료를 활용한 영산강 유역의 TMDL 결정에 관한 연구", 대한토목학회, 제25권, 제6B호, pp. 521-528.
백경원, 김상호, 한건연, 송재우 (1995). "QUAL2E에 의한 한강 하류부에서의 수질해석", 대한토목학회논문집, 제15권, 제2호, pp. 451-461.
오경두, 전병호, 이홍근, 백도현 (1996). "북한강 수역 수질관리를 위한 QUAL2E 모형의 적용", 제16권, 제II-3호, pp. 209-217.
이종태(1998). "도시유역에서의 유출 및 수질해석 모형", 한국수자원학회논문집, 제31권, 제6호, pp. 709-725.
한건연, 김상호, 배덕효 (2000). "GIS와 연계한 하천에서의 2차원 수질관리모형의 개발", 대한토목학회논문집, 제20권, 제5-D호, pp. 593-601.
황성균 (2000). 황성담 수리검토용역.
Brown, R.T., and Barnwell. T.O. (1987), "Computer program documentation for the enhanced stream water quality model QUAL2E and QUAL2E-UNCAS", EPA/600-3-87/007, US Environmental Protection Agency.