

# RTMMS를 이용한 대청호 실시간 탁수 감시 및 거동 예측

## A Real-time Monitoring and Simulation of Turbidity Flow using the RTMMS in Daecheong Reservoir

정세웅\*, 윤성완\*\*, 고익환\*\*\*, 노준우\*\*\*\*, 김남일\*\*\*\*\*  
Se Woong Chung, Ick Hwan Ko, Sung Wan Yoon

### 요 지

대청호로 유입하는 탁수의 감시와 저수지내의 시공간분포를 예측할 수 있는 실시간 탁수감시 및 예측시스템(RTMMS)을 개발하였다. RTMMS는 탁도와 수온 등 실시간 계측자료를 데이터베이스에 저장·조회하는 실시간 감시(Realtime Monitoring), 2차원 탁수예측 수치모델의 입력자료 생성(Input Data), 탁수예측 수치모델의 수행 (W2 Run), 모의결과의 조회 및 저수지 운영 시나리오별 탁수조절 효과분석을 위한 후처리(Post-Process) 기능을 제공한다. 시스템의 GUI 화면은 개별 기능을 탭 형식으로 제공하여 사용자가 순차적으로 자료조회와 모델수행 그리고 결과분석을 쉽게 수행할 수 있도록 설계하였다. RTMMS는 강우사상 동안 유입하천의 수온예측을 위해 대기기온, 이슬점온도, 하천유량자료를 독립변수로 이용하는 다중회귀모델(DMR)을 사용하며, 탁도 예측은 유량과 SS 부하량의 상관관계를 이용하는 탁도예측모델(QLM)을 사용한다. 저수지로 유입한 탁수의 밀도류 거동과 시공간적인 탁도분포 예측은 2차원 횡방향 평균 수리 수질해석 모형인 CE-QUAL-W2를 채택하였다. 개발된 시스템은 2004년 홍수기를 대상으로 시범적용 하였으며, 그 결과를 실측자료와 비교하여 제시하였다. RTMMS는 저수지 탁수발생 현황조회, 취수원 도달시간 및 지속기간, 밀도류와 전도현상을 고려한 시공간 분포 예측, 발전 및 수문방류, 선택취수 등 다양한 저수지운영 시나리오에 따른 상·하류 영향 분석, 용수 이용자에게 탁도 예측정보의 제공 등 탁수를 고려한 저수지운영 의사결정지원 도구로써 매우 유용하게 활용 될 것으로 기대된다.

**핵심용어:** RTMMS, 실시간 탁수감시, 탁수 거동예측, CE-QUAL-W2, 선택취수

### 1. 서 론

우리나라는 연간 총 강수량의 67% 정도가 여름철 홍수기에 집중하여 내리기 때문에 필연적으로 대형 댐 개발을 통하여 수자원을 확보하고 있으며 시간적으로 편기된 수자원의 공급과 수요의 균형을 맞추고 있다. 현재 전국의 연간 물 이용량의 절반 이상을 다목적댐에서 공급하는 용수에 의존하고 있는 실정을 감안할 때 이들 인공 저수지의 수질관리는 그 어느 나라보다도 중요한 과제이다. 그러나 아쉽게도 저수지는 정채 수역이기 때문에 부영양화에 취약할 수밖에 없고, 특히 여름철 집

\* 정회원·충북대학교 환경공학과 조교수·E-mail : chung@chungbuk.ac.kr  
\*\* 준회원·충북대학교 환경공학과 석사과정·E-mail : rnswhdqud@hanmail.net  
\*\*\* 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 수자원환경연구소 소장·E-mail : ihko@kowaco.or.kr  
\*\*\*\* 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 수자원환경연구소 선임연구원·E-mail : jnoh@kowaco.or.kr  
\*\*\*\*\* 정회원·(주)웹솔루스 대표이사·utopia@websolus.co.kr

중호우 발생시 유입하는 탁수는 그 자체로써도 수생태계에 악영향을 미치지만, 다량의 비점오염원을 저수지내로 전달함으로써 댐 운영과 지속적 수자원 이용에 많은 어려움을 주고 있다. 탁수는 종종 수중에서 조류 성장에 필수적인 빛의 투과능을 저하시켜 조류번식을 억제하는 효과를 나타내기도 하지만, 적절히 제어되지 않으면 과잉 영양염류 유입에 따른 부영양화 촉발(김윤희 등, 2001), 중층 용존산소 고갈현상, 장기 탁수방류에 따른 하류 수생태계 서식환경 파괴 및 관광자원 매력 저하, 정수처리비용 증가 등 심각한 사회 경제적 피해를 야기 할 수 있다.

최근에 급격히 발달한 정보통신기술을 응용한 수질모니터링과 모델링 기술은 탁수의 시공간분포와 취수지점 도달시간을 실시간으로 해석하는 데 매우 유용하게 활용될 수 있다. 또한 저수지에서 발생하는 탁수의 거동을 미리 예측함으로써 선택적 취수와 방류방류를 통한 적절한 배제 등의 저수지 조절대책을 지원할 수 있다. 본 논문에서는 대청댐 저수지를 대상으로 구축한 실시간 저수지 탁수 감시 및 예측시스템(RTMMS)의 구성과 기능을 소개하고, 2004년 홍수사상을 대상으로 시스템의 예측성능을 검증한 후 선택취수설비에 의한 탁수조절 가능성을 평가하여 제시하였다.

## 2. 연구방법 및 재료

탁수의 수리·수질 특성을 규명하고 탁수예측 수치모형의 보정·검증에 필요한 자료를 확보하기 위해 유입 하천의 수온·탁도 특성과 저수지내 탁수의 밀도류 거동을 조사하였다(Fig. 1). 탁수 감시는 2004년부터 대청댐 상류 Sta.7 지점에 YSI6920을 설치하여 유입 하천수의 수온과 탁도를 Off-line으로 모니터링 하였으며, 2005년 6월부터 CDMA 통신을 설치하여 인터넷상에서 실시간 조회하고 DB에 저장할 수 있도록 하였다. 그리고 저수지내로 유입한 탁수의 밀도류 거동특성과 부유물질의 이송 및 침강 특성을 파악하기 위해 대청호 내에서 수심별로 측정된 수온과 탁도의 시공간분포 특성을 분석하였다. 또한 탁수 발생시 연속채수를 실시하여 유입하천과 저수지에서 SS와 탁도의 관계를 조사하였다.

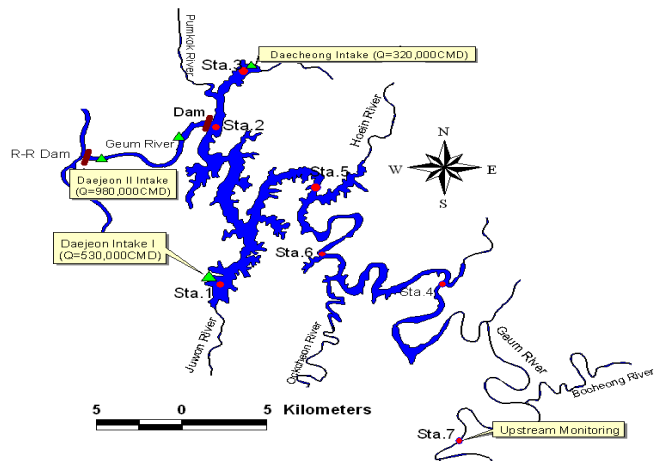


Fig 1. Layout of the reservoir and locations of monitoring stations.

실시간탁수감시시스템은 현장계측장치와 인터넷서버용 컴퓨터에 설치되는 응용 프로그램들로 이루어져 있다. 현장계측시스템에서는 각종 센서로부터 들어오는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하여 인터넷 통신프로토콜(TCP-IP) 통신이 가능한 무선모뎀을 장착하여 인터넷 서버컴퓨터로 일정시간마다 자료를 전송하게 된다. 이렇게 실시간으로 전송된 자료는 서버용 컴퓨터에 자동으로 저장 및 처리하여 인터넷 웹서비스를 통하여 그래프나 텍스트로 보여주게 된다.

RTMMS는 저수지 유입지점의 실시간 계측 자료와 저수지내 월간 및 주간 측정 자료를 데이터베이스에 저장·조회하는 실시간 감시(Realtime Monitoring), 탁수예측모델의 입력자료 생성(Input Data), 탁수예측 모델의 수행(W2 Run), 모델 수행결과 출력 및 분석을 위한 후처리(Post-Process) 기능을 제공한다(Fig. 2). RTMMS의 사용자 인터페이스는 통합 GUI 화면에 개

별 기능을 탭 형식으로 제공함으로써 사용자가 순차적으로 자료조회와 모델수행 그리고 결과분석을 쉽게 수행할 수 있도록 하였다. 그리고 다양한 저수지 운영조건에서 모의시나리오를 포트폴리오로 저장하여 탁수의 거동특성과 지속기간 등을 비교분석 할 수 있도록 함으로써 저수지운영자의 의사결정지원이 가능하도록 설계 하였다.

RTMMS에서 저수지의 수온과 유입한 탁수의 시공간 분포를 예측하기 위한 수치모델은 CE-QUAL-W2(이후 W2)를 사용한다(Cole and Wells, 2003; 정세웅, 2005). 강우시 실시간으로 저수지내의 탁수 거동을 예측하기 위해서는 저수지 예상 유입 수문곡선으로부터 유입하천의 수온과 탁도 경계조건에 대한 단기예측이 필요하다. RTMMS에서 유입수의 수온은 기상자료와 유량자료를 독립변수로 사용하는 통계형 수온예측모듈을 개발하여 사용하며(정세웅, 2006), 탁도는 유량과 부유물질(SS) 부하량의 상관관계 및 SS와 탁도의 선형관계를 이용하여 예측한다.

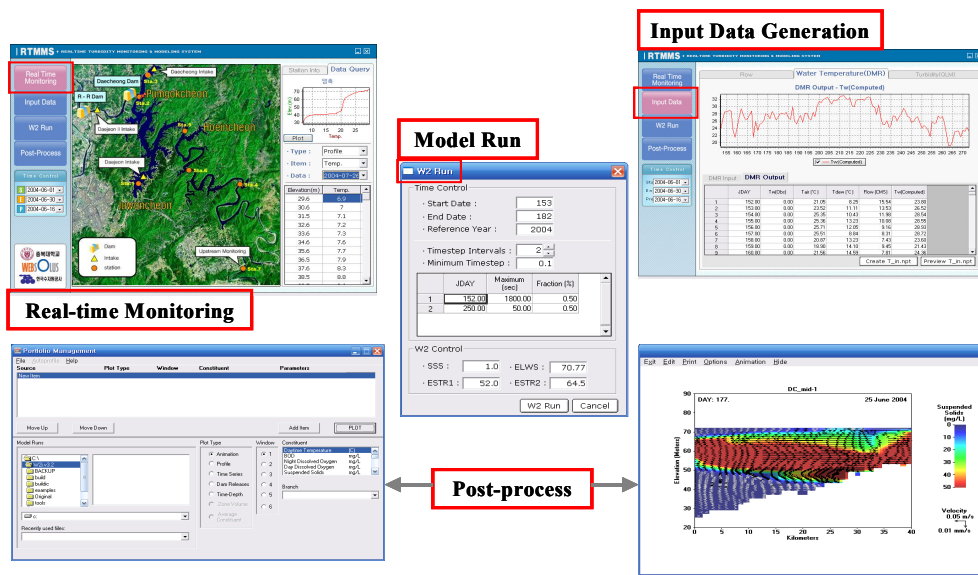


Fig 2. The system configurations of RTMMS and graphical user interfaces.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 RTMMS 보정 및 검증

저수지내 수온구조와 탁수 거동해석의 예측 정확도를 향상시키기 위하여 W2 모델의 주요 매개변수에 대한 민감도 분석을 실시한 후, 민감한 매개변수에 대해서는 실측자료를 이용하여 보정하고 검증하였다. 모형의 보정과 민감도분석은 2001년 수문사상을 대상으로 실시하였다. 그 이유는 2001년 홍수기 동안에는 특별한 강우사상이 없어 저수지의 성층구조가 태양복사에너지와 바람에 의한 혼합에만 주로 지배되었기 때문에 즉, 유입량 에너지에 의한 혼합효과가 작아 성층구조가 교란 받지 않아 매개변수 민감도분석과 보정에 매우 이상적인 조건으로 판단하였다. 보정된 매개변수의 검증은 홍수기 강수량이 평년수준에 가까웠던 2004년을 대상으로 하였다.

보정된 매개변수는 사용자 매뉴얼에 제시된 초기값을 사용하였으며, 보정은 이들 매개변수의 합리적인 범위내에서 관측값과 모의값 간의 절대평균오차(AME)와 오차의평균제곱근(RMSE)를 최소화 하도록 시행착오법으로 수행하였다. 보정결과 2001년 홍수기 동안 모의 수온은 관측수온의 성층화 현상을 매우 잘 반영하고 있으며, AME와 RMSE는 각각 0.538~1.190°C와 0.610~1.571°C의

범위를 보이고 있다(Fig. 3). 모델의 검증기간인 2004년에는 홍수기 동안 3차례의 큰 호우가 발생하여 다량의 탁수가 유입하여 중층으로 관입함에 따라 수온 전이층이 저수면 30m 아래로 하강하였으며, 모델은 이러한 현상을 비교적 잘 모의하는 것으로 나타났다. 검증기간 동안 AME와 RMSE는 각각 0.643~1.039℃와 0.920~1.346℃의 범위를 보여, 보정된 매개변수가 독립된 홍수 수문 사상에서도 적용 가능함을 확인할 수 있다.

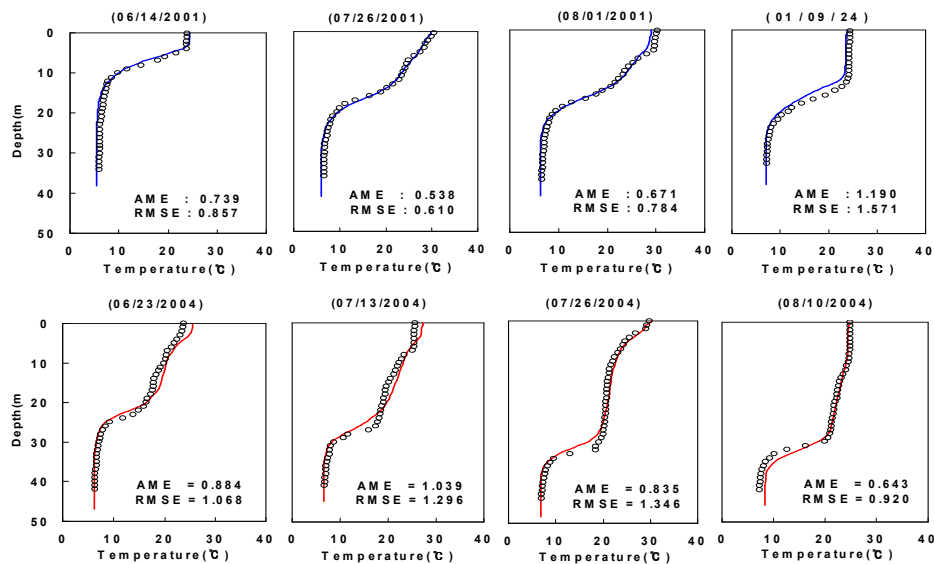


Fig 3. Comparisons of observed and simulated water temperature profiles

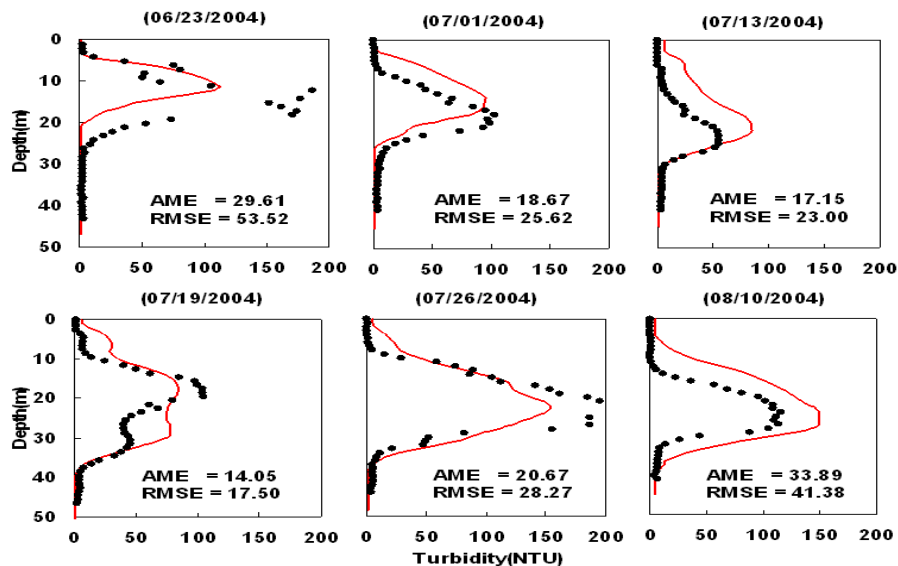


Fig 4. Comparisons of observed and simulated turbidity profiles

댐 앞 지점에서 관측한 탁도와 모의값의 수직분포를 비교한 결과는 Fig. 4과 같다. 탁수층의 두께와 최고 탁도 발생수심 등 탁수의 공간적 분포 모의결과는 실측자료와 비교적 잘 부합하였다.

그러나 탁도의 수심별 분포는 탁질의 침강속도에 매우 민감하였으며, 모델에서는 부유물질의 침강속도가 시공간적으로 일정한 상수값으로 처리되기 때문에 실제 현상과 다소 차이를 보여준다. 또한 수온 전이층이 하강하여 형성된 수심 30m 구간에서는 급격한 수온차이로 인해 서로 다른 밀도 경계면이 형성되어 침강속도가 급격히 줄어 부유물질의 침강이 관측되지 않았지만, 모델에서는 이를 잘 반영하지 못하는 것으로 나타났다. 탁도 시공간분포 예측의 정확도를 좀 더 개선하기 위해서는 탁도 유발 부유물질에 대하여 입자 크기별로 그룹을 세분하여 서로 다른 침강속도를 사용하는 것과 수온에 따라 침강속도가 보정 되도록 모델을 수정할 필요가 있다.

### 3.2 선택취수에 의한 탁수조절 효과분석

현재 대청댐의 하류 용수공급은 EL. 52m에 위치한 수력발전용 방류구(penstock)를 통해 이루어지고 있으며 선택취수설비가 갖추어져 있지 않다. 본 연구에서는 탁수의 실시간 조절을 위해 선택취수설비를 추가할 경우를 가정하여, 그 조절효과를 모의하여 비교하였다. 모의는 2004년 홍수기 수문사상을 대상으로 하였으며, 선택취수 시나리오는 EL. 62m에서 상층 취수(Case 1), EL. 52m에서 중층 취수(Case 2), EL. 42m에서 심층 취수(Case 3)하는 경우와 3층에서 균등 분할 취수하는 경우(Case 4)를 고려하였다. 모의기간은 홍수기인 6월1일부터 9월30일까지로 하였다. 취수구 위치 변화에 따른 탁도의 공간분포와 하류 방류수 탁도의 시계열 모의결과는 Fig. 5에 제시되었다. 모의결과 상층취수(Case 1)는 하류 방류수의 최고탁도와 25NTU 이상의 고탁도 지속기간을 줄이는데 가장 효과적이라는 것을 보여주고 있으나, 저수지내 중층 탁수층이 상대적으로 오랫동안 유지되었다. 따라서 모의결과해석에 주의가 필요하며 선택취수는 호내 수질과 생태계에 미치는 영향, 수직혼합에 의한 전도현상 등을 종합적으로 검토하여 의사결정이 이루어져야 한다.

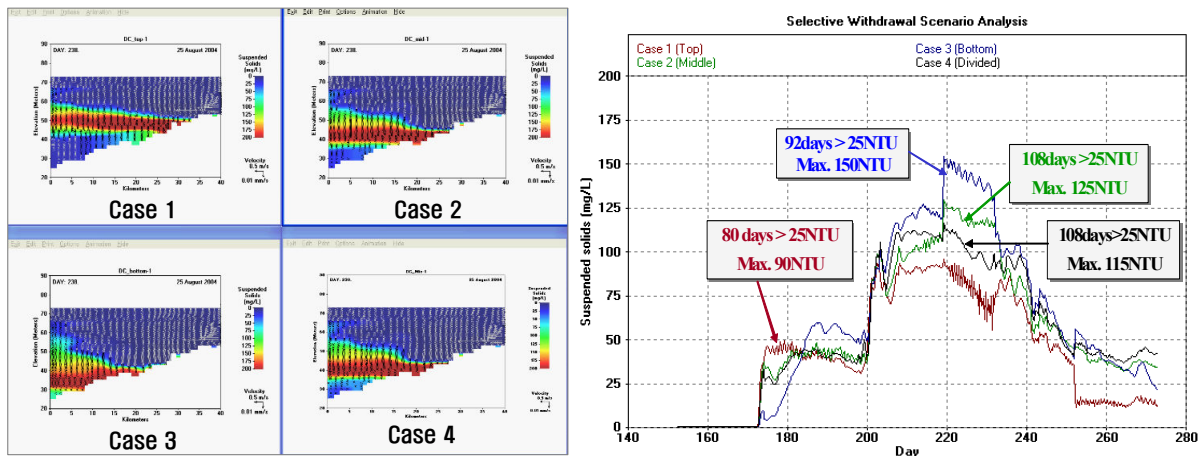


Fig 5. Simulated turbidity distributions(left) and time series(right) for different selective withdrawal scenarios on August 25, 2004.

### 4. 결론

RTMMS는 저수지에서 탁수의 발생 현황조회, 취수원 도달시간 및 지속기간, 밀도류와 전도현상을 고려한 저수지내 시공간 분포 예측, 발전 및 수문방류, 선택취수 등 다양한 저수지운영 시나리오에 따른 상·하류 영향 분석, 용수 이용자에게 탁도 예측정보의 제공 등을 위한 저수지운영 의사결정 도구로써 매우 유용하게 활용 될 것으로 기대된다.

## 감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원 (과제번호: 1-6-2)에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

1. 김윤희, 김범철, 최광순, 서동일 (2001). 2차원 수리수질모델을 이용한 소양호 수온성층현상과 홍수기 밀도류 이동 현상의 모델링, **대한상하수도학회지**, 15(1), pp.40~49.
2. 정세웅, 오정국, 고익환 (2005). CE-QUAL-W2 모델을 이용한 저수지 탁수의 시공간분포 모의, **한국수자원학회논문집**, **Vol. 38, No.8**, pp. 655-664
3. 정세웅, 오정국 (2006). 대청호 상류 하천에서 강우시 하천 수온 변동 특성 및 예측 모델 개발, **한국수자원학회 논문집**, **Vol. 39, No.1**, pp. 79-88
4. Cole, T. M., and Wells, S. A.(2003). *CE-QUAL-W2: A two-dimensional, laterally averaged, hydrodynamic and water quality model, Version 3.1 user's manual*, Instruction Report EL-03-1, U.S. Army Engineers, Washington, DC.