

실시간 수질 환경 감시 및 예측 기술 현황



정세웅
충북대학교 환경공학과
schung@chungbuk.ac.kr

1. 서 론

강우의 계절적 편중이 심한 우리나라에는 댐 저수지와 하구담수호 등 다양한 형태의 인공호수가 건설되어 수자원 공급과 에너지 생산의 중요한 기능을 담당하고 있다. 그러나, 하천에 비해 수심이 깊고 체류시간이 긴 정체수역의 특성을 갖는 호수는 장기적으로 수질오염에 취약하며, 턱수·냉수발생, 유해 독성조류 발생, 용존산소 고갈, 생물 다양성 감소 등과 같은 고질적인 수질환경 문제를 안고 있다. 따라서 상수원의 수질 보존과 건강한 생태계 유지를 위해서는 호수 수질 환경에 대한 종합적인 진단과 대응 전략이 필요하다. 실시간 수환경 감시 및 예측 기술은 기상, 유량, 수온, 수질 등과 같이 호수 수질관리에 필요한 기초자료 수집과 수질오염 문제의 인과관계 분석, 유사시 조기 대응에 활용될 수 있는 핵심 기술에 해당한다.

수량과 수질의 실시간 감시와 예측기술은 유역단위의 물 관리 운영에 있어서 자연재해, 용수부족, 수질사고 등에 긴급대처하기 위해 필요한 매우 중요한 기술요소이다(고익환 등, 2002). 지금까지 수자원 분야에서 실시간 감시와 예측 기술(Real-time Monitoring and

Modeling Technology, RTMMT)이 가장 활발하게 개발되고 성공적으로 적용된 영역은 홍수 예·경보를 위한 의사결정지원시스템(Decision Support System, DSS)이다. 그 이유는 홍수가 인명과 재산에 미치는 직접적인 피해가 막대하기 때문이며, 따라서 홍수예경보 시스템은 현장 계측 및 정보통신기술의 발전과 함께 매우 빠른 속도로 발전하여 왔다. 그러나 물 공급시스템에서 수질측면의 이수 안전도 확보와 비상대응을 위한 RTMMT의 개발 노력은 상대적으로 적은 편이었으며 성공적인 적용 사례도 많지 않다. 1991년과 1994년에 발생한 낙동강 수질오염사고와 1995년에 불거진 시화호 수질문제를 계기로 국내에서는 하천과 저수지에 대한 수질 관측과 모델링 연구가 매우 활발히 진행되었으나, 실제 물 관리 업무에 활용 가능한 DSS 기술로 발전하지 못하고 대부분 일회성 연구에 그치고 말았다.

McKinney(2004)는 DSS를 체계화되지 않은 대규모 물 관리 문제들을 해결해야 하는 의사결정자들을 지원하기 위해 설계된 각종 물정보시스템과 분석 모델 등으로 구성된 통합 전산시스템이라고 정의하였다. 물 공급 시설의 운영을 지원하기 위한 DSS의 설계와 개발 과정에 포함되어야 할 기술요소에는 실시간 자료계측 및 통

신, 데이터베이스, 수치모델링, 사용자 인터페이스(Graphical User Interface, GUI)가 있다. 특히, 수자원계획수립을 지원하는 DSS와는 달리 운영목적의 DSS에서는 실시간 자동 계측 및 통신과 신속한 모델링이 매우 중요하다. 기술적인 요소 이외에도 개발자와 잠재적인 이용자 간의 긴밀한 의사소통도 기술개발의 성공을 좌우하는 매우 중요한 요소이다. 그러나 종종 이 과정은 기술개발 자체보다 어려운 장해요인이 되고 있으며, 이로 인해 데이터 수집, 모델구축, GUI 개발 등에 많은 예산이 투자됨에도 불구하고 개발된 DSS의 성공적인 적용사례는 아직도 많지 않은 것이 현실이다.

본 글의 목적은 실시간 수질 환경 감시 및 예측 기술의 필요성 및 활용방안, 그리고 국내·외 기술 개발 현황과 향후 전망을 소개하는데 있다. 지면 관계상 국외 기술은 비교적 활용도가 높은 성공사례를 중심으로 소개하였으며, 국내 사례는 새만금 수역에 구축 중인 시스템과 지속가능한 수자원확보기술개발 사업의 세부과제인 유역 물 관리 운영기술 개발사업의 단위과제로 개발 중인 실시간 탁수 감시 및 예측시스템을 중심으로 소개하였다.

2. 기술의 필요성 및 활용방안

하천을 가로지르는 거대한 댐과 하구언 시설과 과다한 하천수 취수는 자연 상태의 하천유황(flow regime)에 큰 변화를 가져왔으며, 이것은 하천 생태계의 변화뿐만 아니라 탁수의 장기방류, 저수지 부영양화, 하천수질 악화와 같이 하천의 물리·화학적인 특성에도 큰 영향을 미치고 있다(World Commission on Dam, 2000; Dyson et al., 2003; 서동일, 1998; 정세웅 등, 2004). 용수공급을 위한 취수시설은 대부분 저수지와 하천에 집중되어 있으며, 상수 원수의 수질과 안전은 이러한 영

향을 직접적으로 받고 있다. 유역 내 도로 및 신도시 건설 등 대규모 토지이용 변화는 점오염원 및 비점오염원의 부하량을 가중시키며, 홍수시 발생하는 탁수는 용수 공급시설의 정상적인 운영을 저해하는 중요한 요인이되고 있다.

홍수는 유역으로부터 무기질 부유물(tripton)뿐만 아니라 높은 농도의 병원성 박테리아와 바이러스도 함께 유입시켜 상수원수의 안전을 위협한다(Effler et al., 2005; Hipsey et al., 2004a). 따라서 유역으로부터 상수원으로 유입하는 각종 유해 오염물질로부터 인간과 생태계를 보호하고, 물 공급시스템에 조기 예·경보를 하기 위해서는 실시간 수질 감시·예측 및 제어 기술이 필요하다(정세웅 등, 2005; Hipsey et al., 2004b).

하천과 저수지 상수원의 수질안전을 위협하는 위험요소에는 오염방지시설 고장, 유류 또는 유해물질 차량사고, 불법 방류, 테러 등에 의한 오염물질의 누출사고가 있으며, 저수지와 하구 담수호는 독성 조류의 축발과 예기치 않은 수질오염사고 등이 있다. 댐 저수지는 가장 중요한 상수원이므로 보다 철저한 수질관리가 필요하다. 특히 인위적으로 조절되는 댐 방류수는 하류하천의 유황과 수질, 생태계에 결정적 영향을 미친다. 이러한 수질문제는 단기간에 수생태에 치명적인 영향을 미칠 수 있으며, 물 수급지역의 용수공급 중단과 많은 인명피해도 초래할 수 있다. 이와 같은 긴급상황에 대처하기 위해서는 실시간 유량과 수질 정보에 근거한 신속한 의사결정과 조기경보(Early Warning)가 필요하다. 최근에 급속히 발달한 자동측정 센서기술, 정보통신기술, 디자인 수치모델링 기술은 보다 가시화된 실시간 의사결정지원을 가능하게 하고 있다.

이 외에도 최근에는 하천 생태계를 위한 최소유량의 공급과 사회·환경 개선을 위한 환경용수의 수요량 공급은 저수지와 하천운영의 중요한 고려사항이 되고 있

다. 그리고 취수원과 댐 하류의 수질관리를 위한 선택취수, 폭기시설 운영, 수리구조물 설치, 퇴적물관리 등 다양한 수질관리대책이 진행되고 있다. 환경유량의 공급, 하천 수리시설물의 건설과 개조(rehabilitation)에 따른 환경영향을 감시하고 평가(Impact Assessment)하기 위해서도 RTMMT 기술이 필요하다. 그리고 선택취수 시설과 폭기시설의 운영, 그리고 유역의 수질상황을 고려한 저수지 용수공급계획 수립 등 수리시설의 운영지 원(Operational Guide)을 위해서도 RTMMT 기술이 필요하다. 정수처리를 거친 물을 공급하는 상수관망시스템에서도 관 부식과 미생물에 의한 2차 오염, 수돗물의 맛과 냄새 문제들이 발생할 수 있으므로 수돗물의 품질 관리를 위한 RTMMT 기술이 필요하다.

3. 해외기술 개발 현황

3.1 하천 수질감시 및 예측기술

(1) DAEWPS

Danube강 사고 위기경보 및 방지시스템(The Danube Accident Emergency Warning and Prevention System, DAEWPS)은 Danube강 수계에서 국가 간 경계를 넘는 흥수와 오염물질 누출사고에 대한 정보를 교환하기 위한 시스템이다. DBAM(Danube Basin Alarm Model)은 오염물질 누출 사고 발생시 누출된 오염물질의 주요지점 도달시간, 예상되는 첨두농도를 예측하기 위한 DAEWPS의 운영모델로 사용하고 있다. DBAM은 하천유역 지리정보와 하천 지형자료 등 미리 구축한 가용한 자료와 누출사고 발생 동안 수집 가능한 제한된 자료를 이용하여 누출사고의 영향을 신속히 평가할 수 있도록 설계하였다. DBAM은 라인강 경보시스템인 Rhine Alarm Model(RAM)을 모방하여 만

들었으나, 하천의 폭 방향 오염물질 확산을 모의할 수 있도록 시스템을 개선하였다(van Gils and Groot, 2002). 이 모델은 형가리 물 관리 기관인 VITUKI와 Delft Hydraulics 전문가들이 국제 컨소시엄을 구성하여 개발한 것이다. DBAM은 1999년 1월에 모든 Danube 강 수계에 포함된 11개 국가의 Principal International Alert Centers (PIACs)에 배포되어 운영 중이다.

긴급 상황에서 DBAM은 몇 개의 유량관측망의 실측 자료를 사용하여 물 수지를 계산한다. 관측망 사이구간에서 물 수지는 유역면적과 비례하여 하천을 따라 일정하게 유출하는 것으로 가정한다. 수리해석은 Manning 식을 이용하여 하천 단면과 경사 자료를 사용하여 유속을 계산한다. 유량과 유속은 사고 발생 당시 선택된 수문관측소에서의 수위 또는 유량 관측값을 사용하여 계산된다. DBAM은 관측망 자료를 읽어 들이고 조회하여 모델의 입력자료를 구성하는 사용자 인터페이스, 누출 사고와 관련된 정보와 수문기상 입력자료를 읽고 모의하는 수치모델, 모의결과를 그래프와 테이블 형태로 제공하는 후처리 기능으로 구성되었다.

(2) RiverSpill

RiverSpill은 하천의 오염물질 누출사고와 같은 긴급 상황에서 실시간으로 오염물질의 이송과 확산을 모의하고 조기경보를 하기 위한 GIS(ArcView 3.2) 기반 실시간수질예측시스템이다(Samuels et al., 2002; SAIC, 2003). 미국 환경청(USEPA)의 지원으로 SAIC (Science Applications International Corporation)사에서 개발하였다. RiverSpill은 USGS(U.S. Geological Survey)에서 제공하는 실시간 하천 유량자료를 이용하여 하천으로 유입한 오염물질의 분해와 확산을 계산하여 오염물질의 도달시간과 농도변화에 관한 정보를 제

공한다. 사용자는 지형정보시스템을 이용하여 오염물질이 유입된 지점을 선택할 수 있으며, 실시간 유량 조건에서 오염물질을 추적할 수 있다. 또한 하천에 설치된 취수설비에 도달하는 시간과 농도를 계산할 수 있으며, 이들 취수시설에서 공급하는 수용가의 인구수 등을 지형정보시스템에서 확인할 수 있도록 하였다.

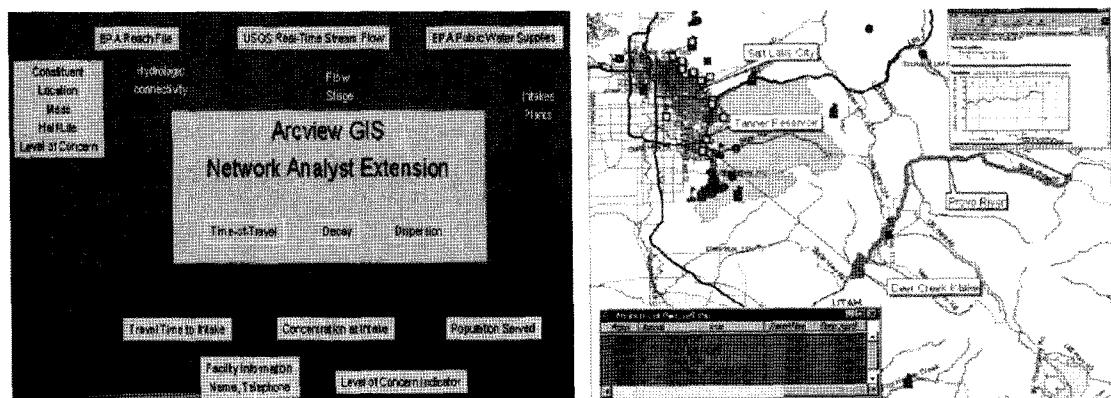
이 모델의 수행에 필요한 데이터베이스는 하천 지형정보인 Enhanced River Reach File(ERF1), USGS의 실시간 하천 유량자료, 그리고 미국 환경청의 Safe Drinking Water Information System(SDWIS)이다 (그림 1). RiverSpill은 ArcView의 extension인 Network Analyst가 시스템에 포함되어 있으며, 현재 미국 전역에서 운영 중에 있다. SAIC는 하천 수질사고의 영향을 정수처리시설과 상수관망시스템까지 해석하기 위해 RiverSpill과 PipelineNet를 통합 운영 할 수 있는 Integrated Water Quality Security System(IWQSS)를 개발한 바 있다(SAIC, 2003).

3.2 호수 수질 감시 및 예측기술

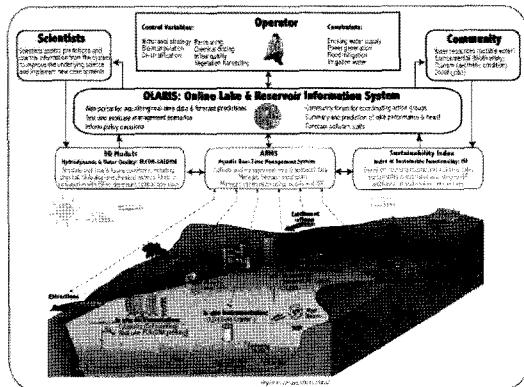
ARMS(Aquatic Real-time Management System)는 서호주대학교 물연구센터(Center for Water

Research, CWR)에서 개발한 웹기반의 실시간 수환경감시 및 예측 시스템이다. ARMS는 실시간 계측자료와 3차원 수리 및 수질모델을 통합한 감시 및 예측 시스템으로써 특별히 흉수, 오염물질 누출사고, 유해한 조류발생 등에 대응하기 위한 단기 의사결정지원시스템으로 설계 되었다. ARMS는 Java 프로그래밍 언어로 개발되었기 때문에 다양한 하드웨어와 운영시스템에 탑재가 가능하다. 현재 ARMS는 호주의 시드니 유역환경청(Sydney Catchment Authority)에서 저수지의 실시간 수질감시와 취수설비 운영을 위한 의사결정 지원시스템으로 활용하고 있다. 그리고 싱가폴 Public Water Utilities에서도 유역모델과 결합하여 저수지 수질관리를 위한 통합 의사결정지원 도구로 ARMS를 구축한 바 있다.

ARMS는 CWR과 미국의 PME사(Precision Measurement Engineering, Inc)와 공동으로 개발한 실시간 저수지 기상, 수온, 수질 자동관측 장치인 Lake Diagnostic Systems (LDS)를 통해 관측한 자료를 수집, 저장하여 모델의 입력자료로 사용하며, OLARIS(Online Lake and Reservoir Information System)라는 웹기반 정보시스템을 통해 실시간으로 인터넷 사이



(그림 1) RiverSpill 모델의 구성 및 Utah주 Provo강 적용 예(Samuel et al., 2 002)



〈그림 2〉 ARMS의 실시간 수역관리 개념도 및 시스템 구성요소
(Hipsey et al., 2007a)

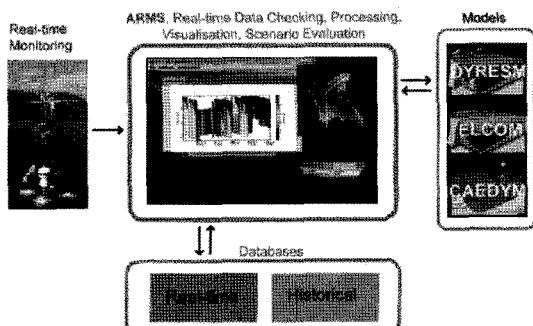
트(<http://www.cwr.uwa.edu.au/webtools/index.php>)에 자료를 제공하고 있다(그림 2). 현재 LDS는 7개국 32개소에 설치되어 운영 중에 있다.

ARMS는 3차원 수리해석 모델인 ELCOM(Estuary Lake and Coastal Ocean Model)과 수질 및 생태순환 해석모델인 CAEDYM(Computational Aquatic Ecosystem DYnamics Model)을 이용하여 저수지의 동적 수질예측을 수행한다(그림 3). 이러한 3차원 모델은 사용자 입장에서 보면 매우 복잡할 뿐만 아니라 계산 시간이 많이 소요되므로, ARMS는 실시간 자료를 사용하여 주기적(daily 또는 sub-daily)으로 현재모의(nowcast simulation)를 수행하여 초기조건을 준비하고, 유사시(spills, floods, algal blooms)에 즉시 예측모의(forecast simulation)를 수행한다. 모델은 준 실시간으로 운영되어 예상되는 기상상태, 호우, 홍수, 그리고 인위적인 저수지 운영조건 등 다양한 시나리오에 따른 저수지 수질변화를 모의할 수 있으며, 저수지관리를 위한 의사결정시지원시스템으로 활용된다. 그리고 이러한 정보를 모두 종합하여 자체 개발한 호수와 하구의 지속 가능성 지수(Index of Sustainable Functionality, ISF)를 산정·제공함으로써 다양한 목적(용수공급, 발

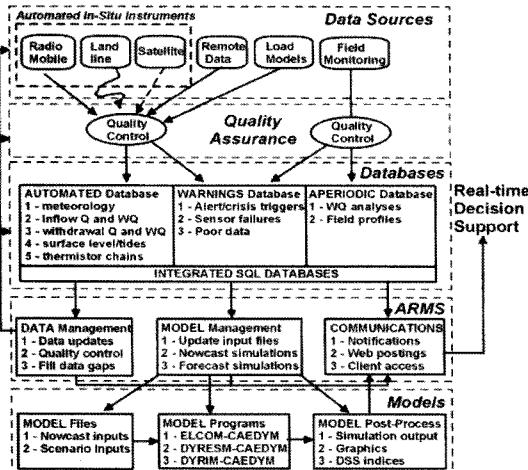
전, 홍수조절 등)과 제약조건(유량, 수질, 수위 등)을 가진 저수지의 수역 관리와 최적운영 의사결정을 지원하고 있다. ISF는 수질문제와 위기상황을 완화하기 위한 다양한 저수지 운영 대책(Options)의 효과를 통합적으로 평가하는 척도로써 저수지 관리자, 운영자, 지역사회 의 의견을 가중치로 고려한 다 기준 지표(multi-criteria index)이다.

ARMS의 실시간 계측, 통신, 데이터베이스, 해석모델, 사용자인터페이스의 계층구조는 〈그림 4〉에 잘 나타나 있다. ARMS의 주요 기능에는 (1)계측자료의 생성·품질관리·결측자료 보완을 포함하는 데이터관리 기능, (2)모델의 입력자료 생성·현재모의·예측모의를 수행하는 모델관리 기능, (3)실측 및 예측 자료의 웹 공개, 위험알림, 고객서비스를 제공하는 통신관리 기능이 포함된다. 현장의 실시간 기상, 수리, 수질 계측자료는 유·무선의 다양한 통신방식을 통해 서버 컴퓨터로 전송된다. 이러한 자료는 검증 및 보완 절차를 거쳐 DB에 저장되며, 실시간 모델링 및 위험 예보를 위해 사용된다. ARMS의 실시간 자료 계측과 검증절차는 〈그림 5〉과 같다.

ARMS의 대표적인 활용사례는 호주 시드니 지역의 가장 중요한 상수원인 Burragorang 저수지에서 홍수

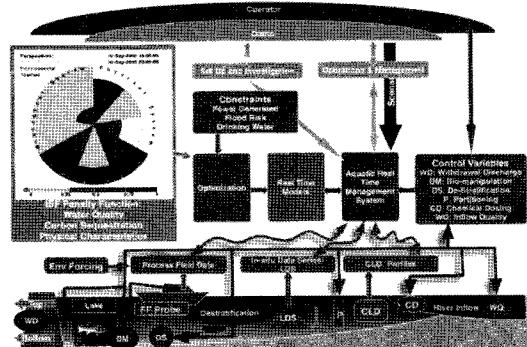


〈그림 3〉 ARMS와 저수지 실시간계측장치(LDS) 및 모델의 인터페이스 개념
(Hipsey et al., 2007b)



〈그림 4〉 ARMS의 실시간 계측, 통신, 데이터베이스, 해석모델, 사용자 인터페이스의 계층구조 (Romero et al., 2005)

시 유입하는 병원성 세균(Cryptosporidium)의 실시간 감시 및 사전 예·경보시스템이다. 앞으로 CWR의 기술 개발 방향은 지금까지 축적된 실시간 저수지 모니터링과 모델링 기술을 보다 발전시켜 Self-learning(자기학습) 시스템을 구축하는 것이다. Self-learning시스템은 실시간 계측자료를 이용하여 모델의 매개변수를 자동보정하며, 다시 실시간 모델링은 긴급 상황에서 현장 모니터링 위치와 샘플링 주기의 결정을 지원한다. Self-learning 기술은 그 동안 입력자료 부족과 현장 여건에



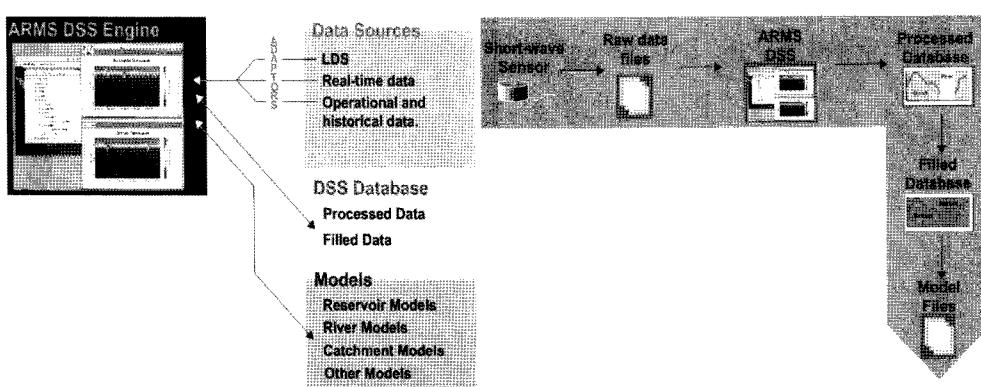
〈그림 6〉 저수지관리를 위한 ARMS의 활용분야: 실시간 모니터링, 생태계 보호, 지속가능성 평가, 폭기시설운영, 방류수 수질관리 등이 포함됨.
(<http://rtm.cwr.uwa.edu/olaris/index.php>)

맞는 매개변수 설정의 어려움을 겪었던 실시간 수질모델링의 한계를 극복할 수 있는 대안이며, 신경망 이론, Genetic Algorithms 등의 Hydroinformatics 기술을 접목하려는 시도이다.

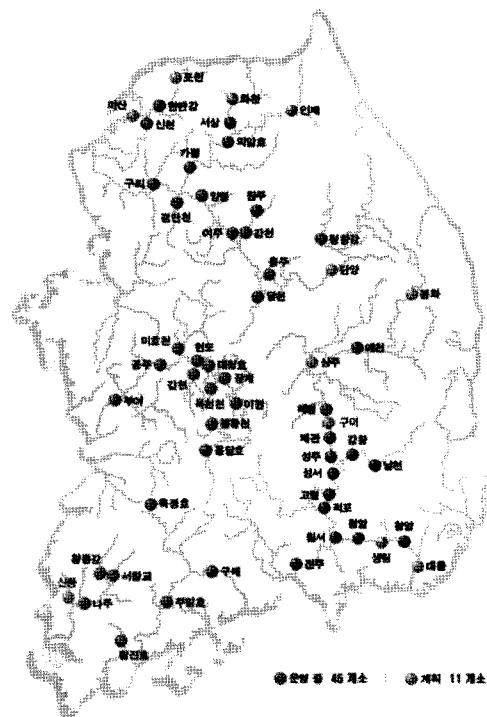
4. 국내 기술 개발 현황 및 계획

4.1 자동수질측정망 현황 및 문제점

우리나라 하천과 저수지의 자동수질측정망은 대부분 환경부(환경관리공단), 수자원공사, 지자체 상수도사업



〈그림 5〉 ARMS 의사결정시스템 구조 및 계측자료 검증 절차 (Hipsey et al., 2007b)



(그림 7) 환경부 자동수질측정망 설치현황 및 계획(<http://www.emc.or.kr/>)

본부에서 상수원의 수질감시를 위해 설치·운영하고 있다. 환경부의 수질자동측정망 확충사업은 1994년 낙동강 수질오염사고 이후 주요 하천과 저수지 상수원의 수질오염사고의 감시와 대처에 대한 필요성이 인식되어 추진되었다. 2007년 현재 한강 14개소, 낙동강 13개소, 금강 11개소, 영산강 및 기타 7개소 등 총 45개소에 설치·운영 중이며, 13개 지점에 추가 설치예정이다(그림 7).

공통 측정항목으로는 수온, pH, DO, 전기전도도, TOC가 있으며, 선택항목은 생물독성(물고기, 물벼룩, 조류, 미생물), 휘발성유기화합물(VOCs), 총질소(T-N), 총인(T-P), 클로로필-a, 암모니아성질소(NH₃-N), 질산성질소(NO₃-N), 인산염인(PO₄-P), 탁도, 폐놀, 중금속 등이다. VOCs는 Benzene, Carbon Tetrachloride,

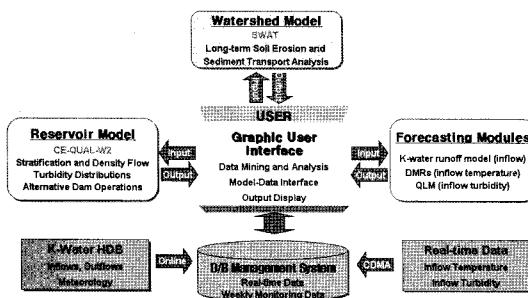
Ethylbenzene, Toluene, (o, m, p-)Xylene, Dichloromethane, Tetrachloroethylene, Trichloroethylene, 1,1,1-trichloroethane을 포함하며, 중금속은 카드뮴(Cd), 납(Pb), 구리(Cu), 아연(Zn)이 포함된다.

환경부 자동수질측정망 자료는 현재 환경부 자체 인터넷을 통해 유관기관에서만 공유되고 있으며, 인터넷을 통한 자료공개는 아직 이루어지지 않고 있다. 그리고 주요 설치목적인 수질오염사고 예·경보 실시를 위해서는 현재의 자동측정 가능만으로는 한계가 있다. 상수 취수시설의 대응시간(lead time) 확보, 오염물질의 누출 위치 추적, 취수원 도달시간 및 지속기간 등을 신속히 파악하기 위해서는 실시간 하천유량자료와 연계한 예측시스템의 구축이 필요하다. 그리고 환경부 대부분의 자동수질측정망의 측정 항목에 탁도가 포함되어 있지 않다. 최근 댐과 하천의 탁수 장기화 문제가 심각하며, 많은 독성 유해물질이 부유물질에 흡착된 형태로 유입하는 것을 감안할 때 탁도 항목의 추가가 필요할 것을 판단된다.

한국수자원공사는 팔당상수원 수질의 실시간 감시, 임하댐 탁수의 실시간 감시, 상수원 취수 수질의 감시 목적으로 자동수질측정 장치를 설치하여 운영 중이다. 특히 임하댐은 탁수문제가 심각하여 댐 상류에 3개소, 저수지내 5개소, 하류하천에 1개소의 탁도 자동측정 장치를 설치하여 운영하고 있으며, 이들 지점의 탁도 현황을 실시간으로 인터넷에 제공하고 있다(<http://imha.kwater.or.kr/>). 2006년에는 탁수의 장기화를 완화하기 위해 표층, 중층, 심층 모두에서 선택취수가 가능하도록 기존의 취수시설을 개선한 바 있다. 그러나 아직 탁수의 실시간 예측과 연계한 조기예보 및 선택취수설비 운영을 지원하기 위한 의사결정지원시스템을 갖추고 있지는 못한 실정이다.

4.2 RTMMS 개발 현황

한국수자원공사는 충북대학교와 (주)웹솔루스와 공동으로 유역단위 통합 물 관리 운영을 위한 의사결정지원 시스템으로써 실시간 저수지 탁수 감시 및 예측시스템(Real-time Turbidity Monitoring and Management System, RTMMS)을 개발하였다(정세웅 등, 2006). RTMMS는 실시간 계측, 데이터베이스, 분석모델, 사용자인터페이스가 통합된 시스템으로 개발되었으며 구성 요소는 <그림 8>과 같다.



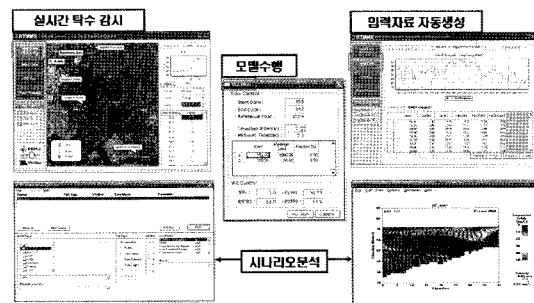
<그림 8> RTMMS의 시스템 구성

RTMMS는 저수지 유입지점의 실시간 계측 자료와 저수지내 월간 및 주간 정기 측정 자료를 데이터베이스에 저장·조회하는 실시간 감시(Realtime Monitoring), 탁수예측모델의 입력자료 생성(Input Data Generation), 탁수예측 모델의 수행(W2 Run), 모델 수행결과 출력 및 분석을 위한 후처리(Post-Process) 기능을 제공한다(<그림 9>). 시스템의 사용자인터페이스(GUI) 화면구성은 개별 기능을 탭 형식으로 제공하여 사용자가 순차적으로 자료조회와 모델수행 그리고 결과분석을 쉽게 수행할 수 있도록 하였다. 그리고 다양한 저수지 운영조건에 따른 시나리오별 모의결과를 포트폴리오로 저장하여 탁수의 거동특성과 지속기간 등을 비교분석 할 수 있도록 함으로써 저수지운영자의 의사결정지원이 가능하도록 설계하였다. 또한 유역의 강우유출 해석과 탁수 유발물질 이

송을 해석할 수 있는 유역해석모델(SWAT)을 구축하여 오프라인으로 연계함으로써 유역의 탁수저감대책 효과를 분석하기 위한 목적으로 활용할 수 있도록 했다.

지금까지 RTMMS는 대청호를 대상으로 구축하여 보정·검증을 하였고, 2006년 홍수기에는 탁수의 저수지 내 거동과 방류수 탁도의 실시간 예측을 위해 시험적용되었다. 그리고 선택취수방법과 부상웨어(Skimmer weir)방법의 탁수조절효과를 평가하는데 사용되었다.

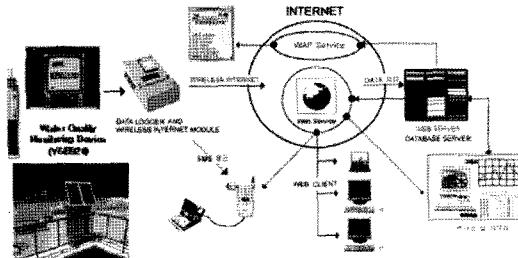
실시간 탁수감시는 맴 저수지로 유입하는 유입수의



<그림 9> RTMMS의 기능 및 GUI 화면

기본 수질항목(수온, 탁도, pH, 전기전도도, DO)을 측정하는 계측시스템을 인터넷통신이 가능하도록 구성하여 여러 사람들이 현장의 측정자료를 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 시스템을 구성하였다(<그림 10>). 이것은 크게 현장계측시스템과 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. 실시간으로 전송된 자료는 서버용 컴퓨터에 자동으로 저장 및 처리되며 인터넷 웹서비스를 통하여 그래프나 텍스트로 보여준다.

실시간 수질 환경 감시 및 예측 기술 현황



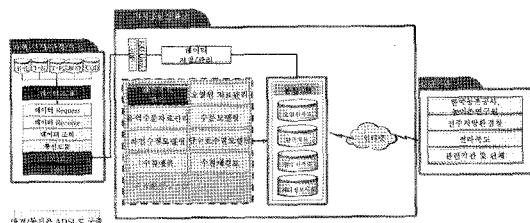
〈그림 10〉 실시간 탁수감시시스템 구성도

4.3 새만금호 수질환경관리시스템 구축 현황

새만금호는 아직 담수화가 완성되지 않은 가상의 호수이지만, 국내외 하구담수호의 경험을 바탕으로 향후 수질문제를 예상해 볼 수 있다. 새만금호 유입하천에서 인과 질소의 농도비를 볼 때 부영양화의 제한영양소는 인이 될 것으로 예상된다. 만약 호수로 유입되는 인의 부하량을 적절히 제어하지 못한다면 만경호와 동진호 유입부에는 조류발생이 예상된다. 봄, 가을에는 규조류 종이 우점하여 물이 갈색으로 변하는 현상이 나타날 수 있고, 여름에는 녹조현상이 발생할 수 있다(농어촌연구원, 새만금호 내부수질개선 대책 연구, 2005). 또한 해수 유통이 차단되어 유역에서 유입되는 유사와 유기물의 퇴적 특성이 변화 할 것으로 예상된다. 퇴적물은 장기적으로 호수의 용존 산소 농도 등 새만금호의 수질과 지형 변화에 영향을 줄 수 있다.

새만금 수질환경관리시스템 구축 사업의 목적은 수질 자동측정값의 신뢰도 확보를 위하여 수질자동측정기와 부대시설의 주기적인 유지관리 및 정도관리, 새만금 상류 하천의 연도별 수질변화와 유입 오염부하량 특성 파악 등 새만금호 수질관리대책 수립을 위한 오염원자료의 체계적인 관리, 적/녹조 예·경보, 유류오염 방재 등 수질오염 방재와 새만금호 수질관리를 위한 의사결정지원시스템의 효율적 운영, 새만금호의 효율적 수질관리를 위한 과학적인 물관리체계 구축에 있다.

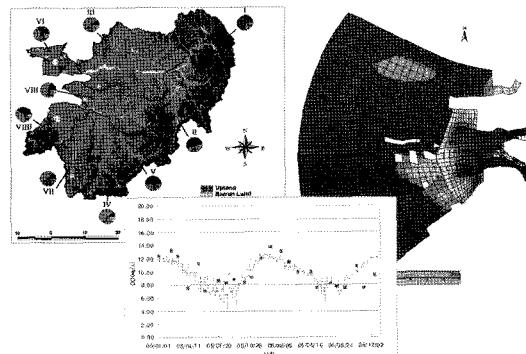
수질환경관리시스템은 수질자료 계측 및 관리 모듈, 수질모델 운영 모듈, 수질관리 의사결정 모듈로 설계되었다 (그림 11). 실시간 계측 장치는 만경제수문, 동진제수문, 신시배수갑문, 가력배수갑문에 설치(2008년 10



〈그림 11〉 새만금호 수질환경관리시스템 구성



〈그림 12〉 새만금호 수질환경관리시스템 자동관측소 설치 현황



〈그림 13〉 새만금호 수질환경관리시스템 모델 구성 요소: 유역모델(HSPF), 호수역모델(GEMSS-K)

월)되었으며, 측정 항목은 수온, pH, EC, 염분, 탁도, DO, COD, T-N, T-P, 엽록소 등이다. 자료는 매 10분마다 계측되며 1 시간 간격으로 신시종합상황실로 전송되어 DB에 관리된다(그림 12). 수질모델은 선행 연구를 통해 구축된 유역모델(BASIN/HSPF)과 호수역 모델(GEMSS-K)을 활용할 계획이다(그림 13). 실시간 계측 자료와 수질모델링 결과는 수질관리 의사결정 모듈을 거쳐 염해, 조류 예/경보, 일반 수질 예/경보, 수질오염 사고 대응 등에 활용될 계획이다.

5. 맺음말

하천과 저수지, 하구 담수호는 물을 공급하고 산업을 지탱해 주는 생명줄과 같은 기능을 담당하고 있다. 반면에 하천을 가로 지르는 수리 구조물에 의한 인위적인 유량조절과 과도한 하천수 취수는 자연하천의 물리적, 화학적, 생물학적 특성과 생태계 서식환경에 변화를 가져오기도 했으며, 상수원은 수질오염사고, 유해 조류발생, 홍수시 탁수와 병원균 범람, 어류 폐사 등 다양한 위험 요소에 노출되어 있다. 100년 또는 200년 빈도의 홍수로부터 인명과 재산을 보호하기 위해 댐, 제방, 홍수 예·경보시스템을 구축하였듯이, 예기치 않은 수질사고와 위협에 대비한 사회적인 안전장치도 확보되어야 한다. 즉, 지속가능한 수자원 확보와 안전한 용수공급을 위해서는 수량뿐만 아니라 수질과 생태환경을 모두 고려하는 유역단위의 통합 물 공급시스템 운영이 필요한 것이다.

최근 날로 발전하는 현장계측 센서기술과 정보통신기술, 그리고 수치모델링 기술은 기존의 직접 채수에 의한 수질관리의 한계를 뛰어넘어 유역의 수질상태 정보를 보다 동적이고 가시적으로 제공할 수 있게 한다. 실시간 수질감시 및 모델링 기술은 유역의 현재 수질상태뿐만

아니라 가상 모의실험(Virtual simulations)을 통해 다양한 외부조건 변화에 따른 하천과 호수의 수질변화를 가시적이고 입체적으로 보여줌으로써 물 공급시스템 운영자의 합리적인 의사결정을 도울 수 있다.

지금까지 국내 다양한 기관에서 구축하였거나 구축 중인 자동수질관측시스템의 기능과 활용도를 한 단계 높이기 위해서는 실시간 모델링기술과 접목된 의사결정 지원시스템의 구축이 필요하다. 우리나라는 정보통신기술의 인프라가 세계 어느 나라 보다 잘 구축되어 있어 기술개발 여건이 매우 좋은 상태이다. 본 글에서 소개한 선진국의 기술개발 사례들은 앞으로 이 분야의 기술개발을 위한 좋은 벤치마킹이 될 수 있을 것이다.

참고문헌

- Dyson, M., Bergkamp, G., Scanlon, J. (2003). Flow. The Essentials of Environmental Flows. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Effler, S. W., Gelda, R. K., Perkins, M. G., O'Donnell D. M. (2005). Modeling Light Attenuation, Secchi Disk, and Effects of Tripton in Seneca River, New York, USA, J. of the American Water Resources Association, 41(4), pp. 971–984.
- Hipsey, M. R. (2007a). Towards a dynamic and adaptive system for real-time water quality management, presentation materials, <http://www.cwr.uwa.edu.au>.
- Hipsey, M. R., Antenucci, J. P., Brookes, J. D., Burch, M. D. and Regel, R. H. (2004a). Simulation tools for minimizing pathogen risk in drinking water reservoirs, Proceedings of the 6th International Conference on Hydroinformatics, edited by S-Y. Lioung, K-K. Phoon and V. Babovic, Vol. 1, pp. 415–423.
- Hipsey, M. R., Antenucci, J. P., Brookes, J. D., Burch, M. D., Regel, R. and Linden, L. (2004b). A three-dimensional model of Cryptosporidium dynamics in lakes and reservoirs: a new tool for risk management,



Intl. J. River Basin Management 2(3): 1–17.

Hipsey, M. R., Imberger, J., Paparini A., Antenucci, J. P., Soncini-Sessa, R., Romano-Spica, V., Dallimore, C. J. (2007b). Towards a dynamic and adaptive system for real-time decision support in aquatic environments, unpublished paper.

McKinney, D. C. (2004). International Survey of Decision Support Systems for Integrated Water Management.

Romero, J. S., Imberger, J., Antenucci, J. P., and Dallimore, C. J., (2005). ARMS(Aquatic Real-time Management System): An Automated Decision Support System for Reservoirs, Estuaries and Coastal Zones. <http://www.cwr.uwa.edu.au>.

Samuels1, W. B., Bahadur, R., Amstutz, D. E., Pickus, J., and Grayman, W. (2002). RiverSpill: A GIS-Based Real Time Transport Model for Source Water Protection, Watershed 2002. Water Environment Federation.

Science Applications International Corporation. (2003). RiverSpill User's Guide Version 2.1.

van Gils, J. and Groot, S. (2002). Examples of good

modeling practice in the Danube basin, Harmoni-QuA, State-of-the-art Report on QA guidelines, October 2002, pp. 18–1~18–6.

World Commission on Dams (2000). Dams and Development, Earthscan, London.

고익환, 정세웅 (2002). “통합수자원관리 기반기술 구축방안 (II)–우리나라의 하천유역 통합물관리 기반기술 구축방안”. 한국수자원학회지, 35(6):71–78.

서동일 (1998). “대청호의 성층현상에 의한 부영양화 특성과 수질관리 방안에 관한 연구.” 대한환경공학회지, 제20권, 제9호, pp.1219–1234.

정세웅 (2004). “저수지 장기간 턱수발생의 원인과 대안.” 수자원정보, 한국수자원공사, 제31권, pp. 88–93.

정세웅, 오정국, 고익환 (2005). “CE-QUAL-W2 모형을 이용한 저수지 턱수의 시공간분포 모의.” 한국수자원학회 논문집, 제38권, 제8호, pp. 655–664.

정세웅, 윤성완, 고익환, 노준우, 김남일 (2006). RTMMS를 이용한 대청호 실시간 턱수 감시 및 가동 예측, 2006년도 한국수자원학회 학술발표회 초청강연/국제세션/발표논문 초록집, 제주 ICC, 2006. 5.18~5.20. p.419~424.

속담(俗諺)풀이

· 벼농사는 물농사다

풀이; 벼농사를 잘하고 못하는 것은 물관리에 달렸다는 뜻

· 빗물에 거품이 일면 풍년이 든다

풀이; 수면에 거품이 일 정도로 빗방울이 떨어지면 풍년이 든다는 뜻

· 벼농사는 남의 농사다

풀이; 옛날 가난한 농민들은 벼농사를 지었다 해도 팔아서 빚 갚고 살 것 사고 나면 남는 것이 없으므로 보리와

잡곡으로 양식을 삼았고 쌀밥은 업두도 못 냈다는 뜻

