



국내·외 저수지 수리·수질 모델의 활용현황 및 발전방향

- 3차원 수리·수질 모델링을 중심으로 -



안 기 홍
한국수자원공사 댐·유역관리처 공동연구원
khahn@kwater.or.kr



염 경택
한국수자원공사 댐·유역관리처 처장
yumkt@kwater.or.kr



반 양진
한국수자원공사 댐·유역관리처 수질환경팀장
banyang@kwater.or.kr



손 병용
한국수자원공사 댐·유역관리처 차장
sonby@kwater.or.kr



변 창영
한국수자원공사 댐·유역관리처 대리
cybyun@kwater.or.kr

1. 서언

호소와 저수지는 하천에 비해 그 특성이 매우 다르다. 일반적으로 저수지내에서의 유속은 하천에 비해 매우 작아 하천에서는 운동량 방정식의 advection term이 mixing term 보다 매우 크나 호소에서는 두 항이 같거나 아님 반대의 경우가 될 수 있다. 그리고 유속이 빠른 하천의 흐름은 수직방향과 횡방향으로의 혼합이 이루어지며 하류부쪽으로의 이송이 빠르나 하천에 비해 깊고 유속이 느린 호소와 저수지는 성층화와 횡방향으로의 농도차가 발생하는 경향을 보인다. 이와 같은 특성의 차이로 인해 유속이 빠르고 폭이 좁은 하천의 경우 1차원 해석이 실시된다. 그러나 호소와 저수지는 하천에 비해 더 복잡한 순환과 혼합과정을 가지고 있고 기상 및 수문학적 조건, 지형, 그리고 성층화 등의 조건에 의해 매우 큰 영향을 받는다. 또한 체류시간이 길어 수체와 하상과의 생화학적 인 내부반응 등의 고려가 필요하다.

이러한 하천과는 다른 열 및 동수역학적인 특성을 가지고 있는 호소 및 저수지에 대한 수질모형은 공간적으로 보면 0, 1, 2 및 3차원으로 수식화할 수 있다. 0차원 모형(완전혼합모형)은 전체수체에 대한 농도는 공간적인 변화성을 고려하지 않은 평균농도로 고려되는데 전체 저수지나 호소를 단지 하나의 지배체적으로 고려하는 것이다. 정지된 수체에 대한 1차원 모형은 통상 성층화의 영향을 고려한 연직방향의 차원을 고려한 것으로서 일련의 수평층으로 나누어 고려한다. 정지된 수역에 대한 2차원 모형은 밀도에 의해 성

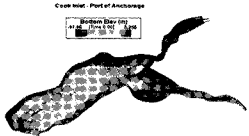

층화된 수체에 대한 주방향과 연직방향 시스템이거나 성층화가 되지 않은 수심평균치를 취한 대규모의 수평차원을 가진 시스템으로 고려된다. 종방향-연직방향 좌표시스템에 있어서의 농도는 $C(x, z)$ 으로 주어지는데 x 는 저수지의 종방향 좌표축, z 는 깊이방향 좌표축이다. 이러한 모형에서는 폭 방향의 농도는 고려되지 않고 폭에 대하여 가정된 평균치로서 고려된 농도를 사용하게 된다. 이러한 모형에서는 수심과 길이방향으로 구성된 지배체적을 사용하게 된다. 3차원 모형의 경우는, x, y, z 방향을 모두 고려하여 해석함으로써 공간적인 변화성을 매우 잘 모의할 수 있으며 실제 저수지 거동을 가장 근접하게 모델링할 수 있는 장점을 가진다.

그동안의 저수지 수질관리는 수질조사 및 오염물 사고시 사후처리에 집중되어져 왔으며, 저수지에서의 수질모의는 지금까지 1차원 혹은 2차원 모형을 통해 실시되어 왔다. 그러나 이러한 수질모의는 국내의 저수지의 형태가 일반적으로 매우 복잡하고 지류와의 합류부분이 넓어 종방향과 수직방향으로의 해석만으로는 호내의 유체거동을 충분히 해석하기 어렵다. 특히 본류의 흐름경로에서 벗어난 지역에서의 유체거동은 유기물의 체류시간에 많은 영향을 미치기 때문에 이에 대한 보다 정확한 해석이 필요하다. 그리고

강우강도의 증가와 식생대의 변화 등 기후변화로 인한 대형탁수 피해의 발생 등 유역관리 참여의 필요성이 대두되는 등 유역대책 평가와 저수지내 유체거동과 영향평가를 위한 수단 확보가 절실한 상황이다. 이에 본고에서는 국·내외에서 시행되고 있는 저수지 관리를 위한 3차원 수리·수질해석모형을 소개하고, 이를 통해 저수지 관리를 위한 선진화방안을 알아보 고자 하였다.

2. 주요 선진국의 저수지 3차원 수리·수질모 델 적용사례

외국에서 시행되고 있는 저수지관리를 위한 3차원 수리·수질해석 모형 구축 사례는 크게 미국, 호주, 유럽 등으로 구분할 수 있다. 미국의 경우 미환경보호국(USEPA)과 미해양대기부(NOAA), 미 개척국(USBR), 지질조사국(USGS) 등에서 각자의 모형을 구축하여 수질관리를 위한 의사결정을 지원하고 있고, 호주의 경우 CWR과 호주국립과학원 등에서, 유럽의 경우 물환경관리지침(WFD : Water Framework Directive)을 수립하여 하천중심의 통합유역 관리를 시행중에 있다.

구 분	용 도
 <p>(EFDC-WASP)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 저수지 하천 수리·수질의 장·단기예측 및 TMDL 수립에 적용
 <p>(BASINS)</p>	<ul style="list-style-type: none"> GIS기반의 유역 수질관리 의사결정지원시스템 미국의 오염총량관리제(TMDL)에 이용



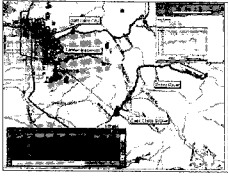
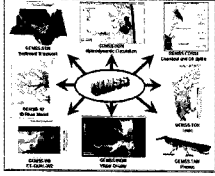
구 분	용 도
 <p data-bbox="227 473 312 494">(RiverSpill)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 실시간 오염물질의 이송·확산을 모의하는 GIS기반의 하천수질예측시스템 • 미국 전역에서 운영되고 있으며, 실시간 유량조건에 따른 오염물질의 도달시간과 농도 추적 및 변화 예측
 <p data-bbox="234 705 307 726">(GEMSS)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 3차원 수리·수질해석 및 GIS 기반의 범용 지표수 환경모델링 시스템 • 저수지내 시간에 따른 유속, 수위·수온 변화, 물질이동을 모의 가능하며, Chespeak 하구 등 전 세계 40여개의 댐 저수지 수리·수질관리에 적용

그림 1. 미국의 주요 수질관리 의사결정지원시스템

2.1 미국

미국은 저수지의 장·단기적인 수리 및 수질해석과 효과적인 수질관리방안을 도출하기 위해 다양한 수질 예측모형을 개발하여 적용하고 있다. 그리고 유역의 비점오염원을 모의할 수 있도록 GIS기법을 접목시켜 유역의 수량·수질을 통합한 최적관리기법(Best Management Practice)을 개발하여 활용하고 있다. 그림 1은 미국의 주요 수질관리 의사결정시스템을 나타내고 있다.

미환경보호국(USEPA : U.S. Environmental Protection Agency)의 경우 연합정부 차원의 TMDL 시행을 위해 EFDC, HSPF, SWAT, AQUATOX 등 다양한 모델을 개발·적용하고 있으며, 주정부 각각의 당면 수질문제를 해결하기 위한 다양한 프로젝트도 병행 시행중에 있다. 기존의 WASP 모형을 통한 수질해석시 발생하는 수리학적 고려의 불충분성을 보완하고자 EFDC라는 3차원 수리모형을 채택하여 연계 시행하고 있다.

EFDC(Environmental Fluid Dynamics Code)모델은 3차원 수리동역학모델로서 유체의 이동, 염분 및 온도 모의 외에도 흡착성 또는 비 흡착성 부유물질의

이동, 오염원 유입에 의한 희석, 부영양화 기작, 독성 오염물질의 이동/반응 등의 모의가 가능하다. 특히 EFDC 유동 부분 모의에 있어서 댐 또는 암거 등의 치수 구조물 해석뿐만 아니라 수심이 얇은 수체에 대한 wet/dry 현상을 모의할 수 있어 인공습지 등에서의 유동을 모의할 수 있다. 또한 유동 및 확산 등의 물리적인 이동 기작에 대한 정보는 비 반응성 또는 반응성 수질 변수들의 모의를 위해 사용될 수 있다. 그림 2는 EFDC-WASP 모형 모델링 구성도를 나타내고 있다. WASP 모델은 자연현상과 인간의 활동으로 발생하는 다양한 오염물질에 대한 수질의 예측 및 해석이 가능하며, 수체와 저니층의 수질을 모의할 수 있는 유동구획모형이며 유동, 확산, 점오염원과 경계조건의 시간에 따른 변화와 공간에 따른 변화를 고려할 수 있다. 그러나 수리 거동을 모의하는데 있어서 사용자가 유동을 직접 입력하게 되어 수리 모의의 신뢰도가 낮은 문제가 있어 EFDC와 연계된 EFDC-WASP 모형의 경우는 이러한 문제점을 개선할 수 있다.

미국 해양대기부(NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration)는 기후변화에 따른 수리와 기상을 통합하여 예측하고, 이에 따른 저수지 운영시 의사결정을 지원하는 프로젝트를 시행중이다.

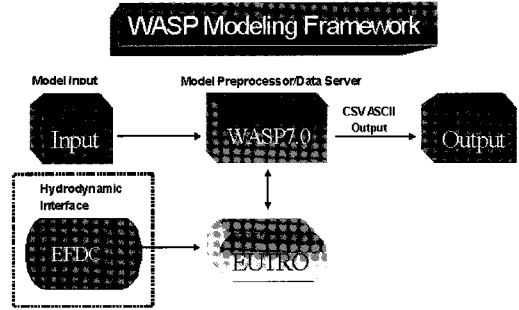
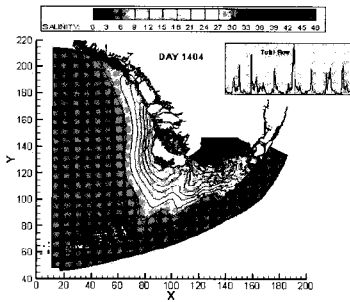


그림 2. EFDC-WASP 적용 예와 모델링 구조도

그리고 에너지 관련 기관 및 지역 정부와 공동 연구를 시행중이며, 안정적 수량 확보와 발전 수익극대화 등을 고려한 최적 의사결정을 실현하기 위한 의사결정시스템을 추진중이다.

미 개척국(USBR)과 지질조사국(USGS)의 경우는 WARSMP(Watershed and River System Management Program)를 공동 개발하였다. 이는 수계 모형과 저수지 운영 모형 및 구간 단위의 생화학적 모의 모형을 결합한 것으로서 MMS나 RiverWare와 같은 주요 분석도구들이 공통의 데이터베이스인 HDB(Hydrologic DataBase)와 연계(HDB는 시계열 수문자료, GIS 속성자료, 통계정보 및 수자원 관리에 필요한 자료들을 저장, 관계형 DB로 설계)되어있다. 이를 통하여 콜로라도와 뉴 멕시코주간의 물배분 협약 관련 문제 및 콜로라도강 유역의 장기 수자원계획 수립 및 정책 입안 업무와 중기 운영계획 설정에 활용하였다.

2.2 호주

호주는 서호주대학 물연구센터(CWR : Centre for Water Research)와 호주국립과학원 (CSIRO : Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization)에서 저수지 수질관리를 담당하고 있다. 먼저 서호주대학 물연구센터의 경우 의사결정시스템 (ARMS : Aquatic Realtime Management System)을 통한 실시간 자료 측정 및

모델링을 수행하고 동시에 관리자의 의사결정을 지원하고 있으며, 5개 과제를 통해 공동 연구 중으로 외부에 시스템은 미공개이다.

ARMS는 실시간 계측자료와 3차원 수리 및 수질모형을 통합한 감시 및 예측 시스템으로써 특별히 홍수, 오염물질 누출사고, 유해한 조류발생 등에 대응하기 위한 단기 의사 결정지원시스템으로 설계되었다. Java 프로그래밍 언어로 개발되어 다양한 하드웨어와 운영시스템에 탑재가 가능한 장점을 지니고 있고 미국의 PME사(Precision Measurement Engineering, Inc)와 공동으로 개발한 실시간 저수지 기상, 수온, 수질 자동관측 장치인 Lake Diagnostic System(LDS)을 통해 관측한 자료를 수집, 저장하여 모델의 입력자료로 사용한다. 그리고 OLARIS(Online Lake and

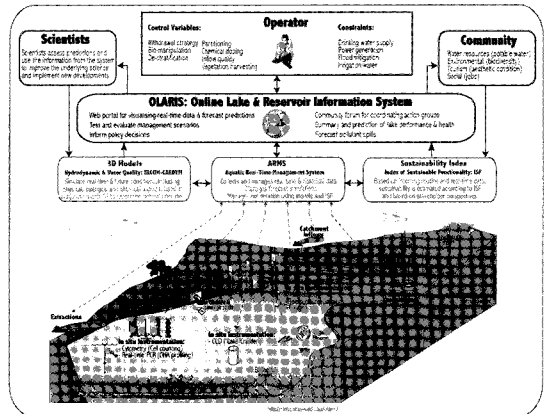


그림 3. ARMS의 실시간 수역관리 개념도 및 시스템 구성요소(Hipsey et al., 2007)

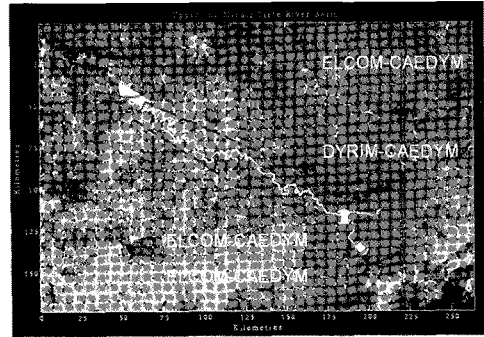
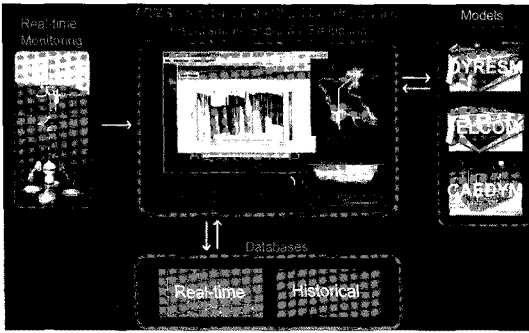


그림 4. ARMS와 LDS 및 모델의 인터페이스 개념도(Hipsey et al., 2007)

Reservoir Information System)라는 웹기반 정보 시스템을 통해 실시간으로 인터넷 사이트에 자료를 제공하고 있다. 그림 3은 ARMS의 개념도 및 시스템 구성요소를 나타내고 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. ELCOM 모형은 호수와 저수지를 위한 3차원 수리동역학 모델로써 시공간적인 수온과 염분농도의 변화를 예측하는데 사용되고 있다. 이 모델은 CAEDYM 모델과 연결(coupling)되어 호수와 저수지의 수질 및 생태계의 동적 모델링을 위한 수리 해석결과를 제공한다. 그리고 CAEDYM 모델은 다양한 수리모델과 연결될 수 있도록 구성된 수생태계 모델로서 현재 수리모델은 DYRESM, DYRIM, DIVAST 그리고 ELCOM 모델과 연결될 수 있다. CAEDYM 모델과 수리모델의 연동해석은 특히 수체의 태양복사에너지 투과능이 물의 탁도와 수질농도에 의존하는 경우 수질-수리 상호작용을 반영할 수 있어 보다 정확한 해석을 할 수 있다는 장점이 있다. 이 모델은 C, N, P, Si의 다양한 순환과정, DO 순환, 입자크기별 6개까지의 무기 부유물질, 그리고 식물 및 동물플랑크톤, 어류 등의 생태모의 항목을 포함한다. 그림 4는 ARMS를 구성하는 모델과 LDS 및 인터페이스의 개념도를 나타내고 있다.

이러한 3차원 모델은 사용자 입장에서 보면 매우

복잡할 뿐만 아니라 계산시간이 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, 저수지 관리를 위한 의사결정지원시스템으로 활용된다.

현재 ARMS는 호주의 시드니 유역환경청(Sydney Catchment Authority)에서 저수지의 실시간 수질감시와 취수설비 운영을 위한 의사결정 지원시스템으로 활용하고 있다. 그리고 싱가포르 Public Water Utilities에서도 유역모델과 결합하여 저수지 수질관리를 위한 통합 의사결정지원 도구로 ARMS를 구축한 바 있으며 샌프란시스코만, 비와호, 홍콩만, 스완호 대상 자료가 축적중이나 공개되지 않고 있다. 그리고 시드니 Burragorang호 등 11개소 프로젝트가 진행 중이다.

호주국립과학원(CSIRO : Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization)은 호주 전역의 저수지, 해양에 걸쳐 최신 Remote-sensing, 모델기술을 개발하여 활용하고 있으며 정부의 정책수립부터 영향평가 등을 지원하고 있다. 생태계 모델 Atlantis, SERM 등을 개발하여 생물다양성 보존, 저수지 생태계 평가 및 예측을 수행하고 생태계

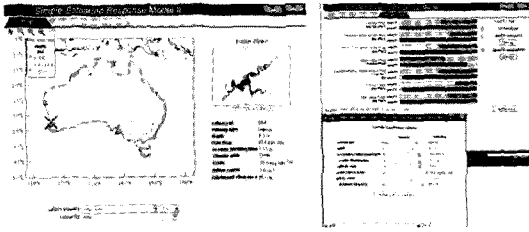


그림 5. CSIRO의 Simple Estuarine Response Model

건강성 평가 및 수산 정책에 반영하고 있으며 예측항목으로는 생태계의 생산/소비, 개체 성장/사멸, 이획 등 인간 활동에 의한 변화 등이 있으며 Smart sensor monitoring 체계를 도입, 무선통신으로 퀸즐랜드의 Wivenhoe호에 120개 측정 장치를 설치하여 유역과 저수지 모니터링 강화에 적용하고 있다. 그림 5는 Simple Estuarine Response Model을 나타내고 있다.

2.3 유럽

유럽의 경우 유럽연합 25개국(이제 27개국)이 참여하는 새로운 물환경관리지침(WFD : Water Framework Directive)은 “물관리 위기”를 인식하고 하천중심의 통합유역 관리를 위해 유럽연합 통합법안을 수립하였다. 유럽연합 물환경관리지침에는 기후변화 대응 정

책까지 통합법안에 반영하고 있으며 통합유역 관리를 기본방향으로 설정하고 유역개발에 따른 오염원 발생을 예측하고 수질관리목표 달성을 위한 정책제시 등 계획단계에서부터 의사결정을 지원한다. 현재 공식 수리·수질모델은 선정되지 않았으며, 영국(TELEMAC-3DWQ), 핀란드(BIA), 네덜란드(DELF3D), 독일(GETA) 모델 등이 거론되고 있는 상태이다.

독일의 경우 3차원 수리·생태모델인 GETAS 모델이 거론되고 있는데 이는 유럽연합 과학기술부에서 개발중인 모형으로 수리·수질을 예측할 수 있는 3차원 모델로 단순 수질모델을 벗어나 생태의 범위까지 모의가 가능하도록 확장 중에 있다. 이는 수생생물학, 호소 물리학, 기상·기후학, 수자원 분야를 모두 통합하여 저수지관리를 위한 과학적 지원관리로서 활용되고 있다.

그림 7은 GETAS 모델 시스템의 구성도와 기능, 생태모델 구성도, 수치추적자와 수문시계열에 대한 적용 예를 나타내고 있다. 1차원 LAKE 모형이 열-수리동역학과정과 관련된 주 혼합과정을 모의하게 되고 3차원 모형이 복잡한 수리동역학적 과정을 담당하게 된다. 동적 생태계 모델인 SALMO는 사용자가 외부인(영양물질, 유기물 등), 내부적 도구(수위저감, 국부적 순환, 생물조절 등)의 영향을 반영할 수 있도록 구성되어져있다. 6개의 상태변수(인, 질소, 식물성

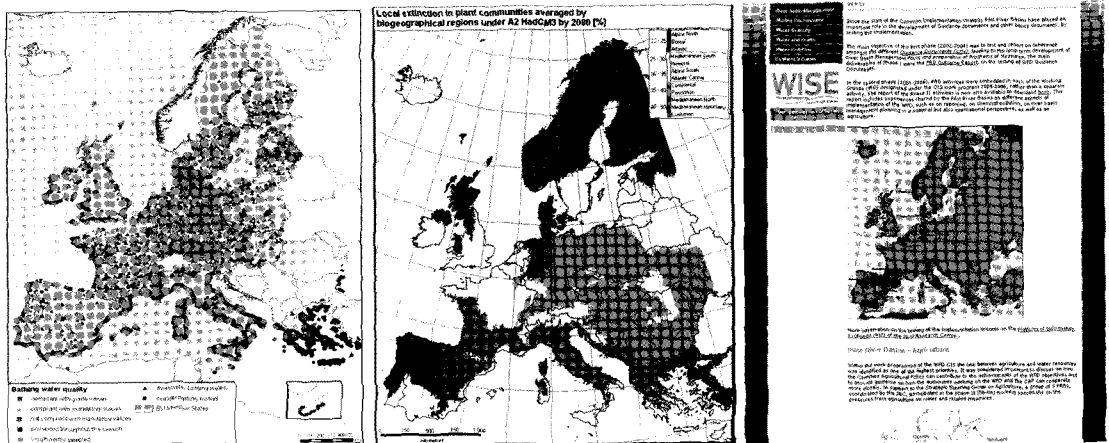
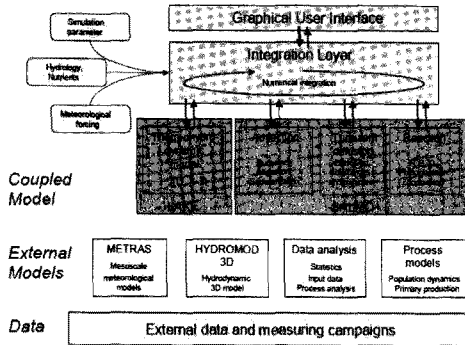
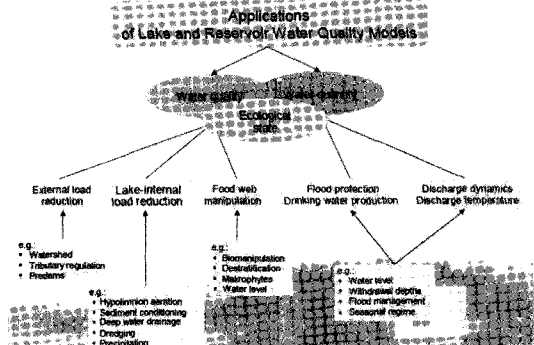


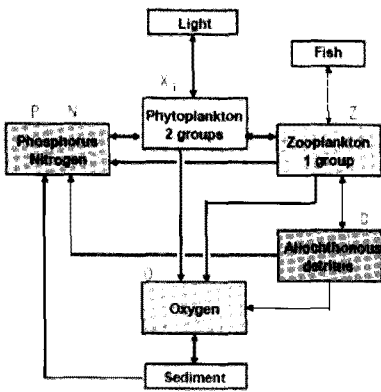
그림 6. 물환경관리지침(Water Framework Directive)



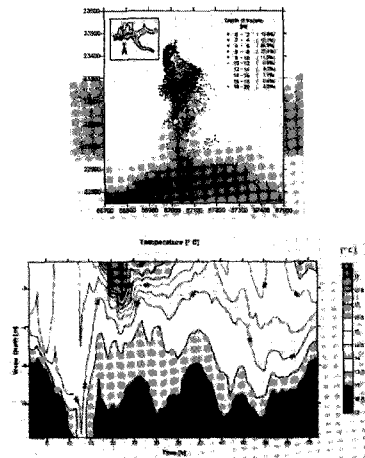
(a) GETAS 구조도



(b) GETAS 기능



(c) SALMO 생태계 모델



(d) GETAS 적용 예(수치추적자, 수온)

그림 7. GETAS model system

플랑크톤, 동물성플랑크톤, 조류, 산소)로 구성되어 있고, 입력자료는 체적, 유량, 질소와 인 유입량, 일사량, 수온, 층 두께가 필요하다.

네덜란드는 DELTRAS라는 컨설팅회사에서 ADB(Asian Development Bank)의 예산지원을 받아 중국 송화강 유역과 저수지 평가를 진행하고 향후 15년간의 개발과 수질관리 방향을 결정하는 연구를 진행중에 있다. 자체적으로 개발한 유역모델, 3차원 수리·수질모델(DELF3D)등을 이용하고 있으며 프랑스 등과 공동으로 진행 중에 있으며 핀란드의 EIA 연구소는 자체 EIA 3차원 수리·수질모델을 이용하여 메콩강 유역의 개발 및 하천영향평가와 정책방향

에 대한 의사 결정을 지원하고 있다. 특히 캄보디아, 베트남 등의 홍수분석, 토양유실에 따른 수질관리, 생물 서식지 연구 등도 함께 시행하고 있다.

오스트리아의 경우 ESS(Environmental Software and Service)를 개발하여 웹기반의 실시간 자료관리 및 모델링이 가능한 시스템을 구축하였다. 이를 통해 수질, 대기, 오염원 등의 취득 자료를 실시간으로 관리하고 있으며 이해관계자들이 접속하여 실측자료를 확인하고, 구축된 모델을 통해 스스로 시나리오를 분석하고 환경관리 필요성을 공감할 수 있는 도구로 활용하고 있다. 그림 8은 오스트리아의 웹기반 실시간 자료관리 및 모델링 시스템을 나타내

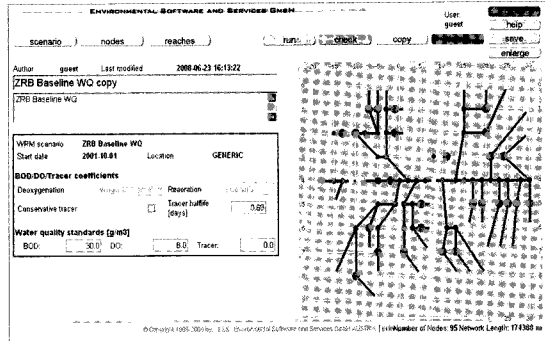
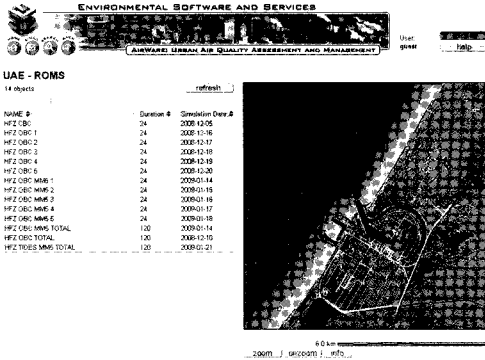


그림 8. 오스트리아의 웹기반의 실시간 자료관리 및 모델링 시스템

고 있다.

그리고 영국정부는 1947년 HR wallingford라는 수리연구소를 수립하였고 현재는 비영리단체로 전환하여 건설됨을 수행하고 있다. 자체 개발한 3차원 수리·수질모형(TELEMAC-3DWQ 등)을 이용하여 영국의 지리·기후적 특성을 반영한 홍수 위험 평가, 수질 및 생태계 평가 등을 수행하고 있으며 정책 방향 결정을 지원하는 도구로서도 활용되고 있다. 최근엔 유럽의 기후변화 대응에 맞추어 기후변화도 병행 연구하고 있다.

3. 국내동향

지자체와 환경부의 경우는 2009년 1월부터 한강 수계에 장기 동적 수질해석체계를 구축하고 있고 2015년까지 하구 등 생태계 변화를 예측할 수 있는 수준의 통합모델링 시스템을 개발하는 등 주로 하천에 국한되어 수질관리를 시행하고 있으며 저수지의 경우는 2차원 모형을 이용한 영향분석을 수행하고 있다. 또한 3차원 수리·수질모형의 경우 대청호 조류상승 발생수역이 본류 수역에 미치는 영향분석(2008)과 같이 저수지 탁수, 조류 등의 거동 및 영향 해석 등을 위한 단편적인 적용사례만이 존재하고 있을 뿐 유역통합관리를 위한 시스템 구축 사례는 아직 없는 상황이다.

한국수자원공사에서는 '02년 임하댐, '06년 소양강댐 탁수피해 이후 유역관리 참여에 대한 필요성과 사전 예측적, 예방적 댐저수지 수질관리 체계를 위해선 수리·수질 예측기술의 선진화가 필요하다는 점을 인식하여 의사결정지원시스템 개발을 도모하고 있다. 탁수의 장기화 문제와 부영양화 및 이에 따른 조류의 이상 증식문제를 해결하기 위한 의사결정지원시스템으로 2차원 모형인 CE-QUAL-W2를 이용한 RTMMS를 개발중에 있고 그림 9는 RTMMS 시스템 구성도를 나타내고 있다.

그리고 부영양화의 하폭방향으로의 거동, 난류확산의 문제 등 2차원 모형이 가지는 한계점을 극복하고 보다 정밀한 유체거동 해석과 수생태계 모델링을 도모하고자 3차원 수리·수질모형을 도입하여 의사결정시스템을 구축하고 있다. 이러한 시도는 호내의 정확한 유체거동과 유기물 체류시간에 따른 상호작용

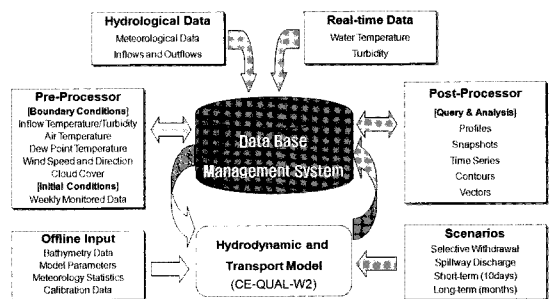


그림 9. RTMMS의 시스템 구성

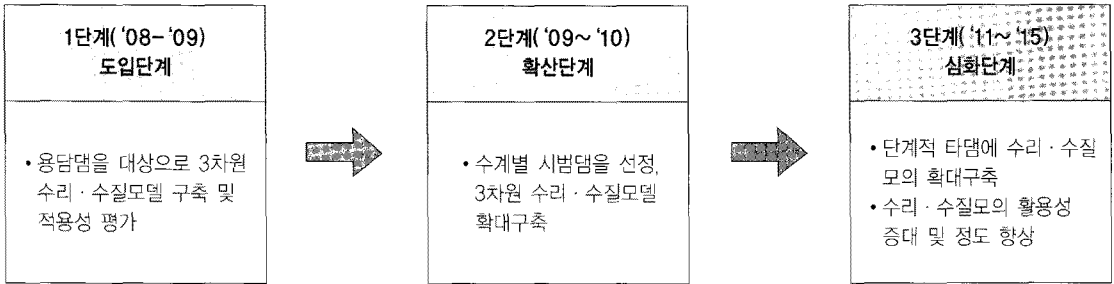


그림 10. 3차원모형을 이용한 의사결정시스템 구축

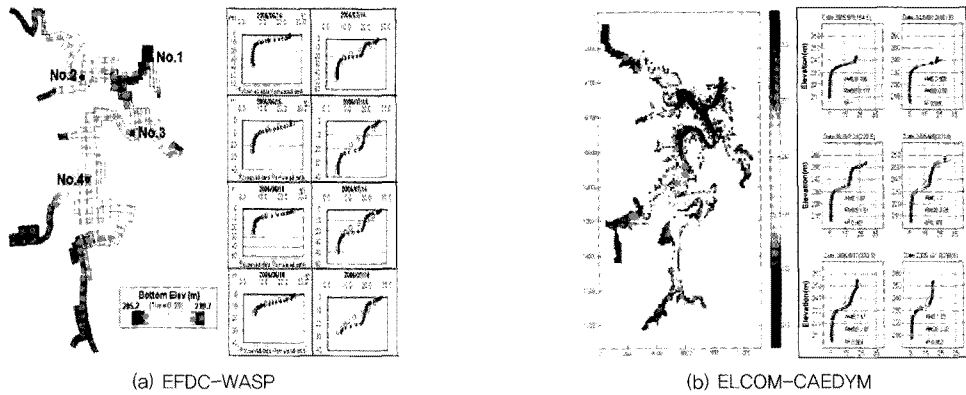


그림 11. EFDC-WASP과 ELCOM-CAEDYM 모형 비교

용, 수생태계의 거동해석을 위해 매우 적절하다 할 수 있으며 국내에서 처음으로 시행되는 시도이다.

“댐 중심의 통합유역관리(IWRM) 실현”을 캐치프라이즈로 하여 예측·예방적 수질관리를 실현하고 과학적 저수지 수리시설물을 설계 및 운영하고자 2010년까지 수질자동측정장치를 확대 설치하고 저수지 유입부와 호내 수질의 실시간 모니터링 체계를 구축하고 있다.

3차원 수리·수질모형 구축은 저수지 수질개선 시설물을 설계 및 평가하고 유역 오염원 및 정책 평가 등 예측·예방적 저수지 수질관리를 실현하고자 현재 1단계로서 저수지 3차원 수리·수질모의 모형 적용성을 용담댐을 대상으로 EFDC-WASP과 ELCOM-CAEDYM 모형을 이용하여 탁수, 성층, 전도현상 등 다양한 경계조건 변화에 따른 수체거동 및 수질모의를 평가중에 있다. 그림 11은 EFDC-WASP과 ELCOM-CADYM 모형의 수온 성층화를 모의한 결

과를 나타내고 있다.

2단계에서는 확산단계로서 적용성 평가를 통해 나타난 모델별 특성을 고려하여 수계별 대표댐을 선정하고 수리·수질모의를 확대시행하게 된다. 이를 통해 모델의 적용성을 재고하게 되며 3단계에서는 심화단계로서 2015년까지 단계적으로 타댐에 대한 수리·수질모형을 확대 구축하여 수리·수질모의의 활용성을 증대하고 정확도를 향상하여 오염총량제, 정책 및 개선대책 평가 등 실제 업무에 모의결과를 적용할 계획이다.

결국 모형을 안정화시키고 체계의 적용성을 재고시키기 위해서는 후속모니터링과 모형의 신뢰도 확보, 사용자 교육이 필수적이다. 이를 위해 2010년까지 후속모니터링을 실시하고 지속적 교육 및 전문가 양성을 계획중이며 국내외 수질관리 선진기관과 MOU를 체결하고 기술교류를 실시하여 구축모형의 관리의 안정화를 도모하고 있다. 이러한 호소 및 저수지관리를

위한 3차원 수질모형의 도입은 예측적, 예방적 수질 관리를 위한 필수적인 사항이며 저수지 수질관리 선진화를 위한 세계적인 흐름이라 할 수 있다.

4. 맺음말

컴퓨터 기술의 발달로 인해 요원해 보였던 3차원 수리·수질해석모형의 실제 적용이 실용성을 갖게 되었다. 또한 탁수 및 조류 등 저수지 수질악화에 대한 사전 저감방안을 수립하고 대처하기 위해서는 보다 과학적인 3차원 저수지 흐름을 반영한 정교한 수질모의체계의 구축이 필요한 상황이다.

본고에서는 이러한 필요성에 부합하고자 호소 및

저수지 수질관리를 위해 적용되고 있는 국·내외 수질관리 시스템에 대하여 살펴보았다. 현재 전세계적으로 시행되고 있는 3차원모형 기반의 수리·수질 예측 및 제어시스템 개발에 발맞추어 국내에서는 한국수자원공사에서 EFDC-WASP과 ELCOM-CAEDYM 모형에 대한 적용성 평가가 추진 중에 있다. 결국 이를 통해 도출된 결과는 국내의 타담에 확대 적용되어 정책 입안 및 관리대안 제시에 활용될 수 있어 추진 중인 3차원 수리·수질모의 모형의 개발은 그 방향성과 잠재성에 있어 매우 긍정적이라 할 수 있다. 그러나 3차원 모형이라는 전문분야에 대한 전문인력 및 가용자료의 확보라는 필수조건이 뒷받침되어야만 모형의 적용성 및 지속적 운영성을 확보할 수 있을 것이다. ☺

참고문헌

1. 국립환경과학원 금강물환경연구소 (2008). 대청호 조류상승 발생수역이 본류 수질에 미치는 영향분석(II).
2. 한국수자원공사 (2009). 실시간 탁수 감시 및 예측시스템 개선.
3. Asian Development Bank (2005). Peoples's Republic of China: Songhua River Basin Water Quality and Pollution Control Management.
4. Hipsey, M. R., Imberger, J., Papanini A., Antenucci, J. P., Soncini-Sessa, R., Romano-Spica, V., and Dallimore, C. J. (2007). Towards a dynamic and adaptive system for real-time decision support in aquatic environments, unpublished paper.
5. Georgakakos, K.P., Graham, N.E., and Carpenter, T.M. (2005). "Integrating Climate-Hydrology Forecasts and Multi-Objective Reservoir Management for Northern California", EOS, Vol. 86, No. 12, pp.122-127.
6. <http://www.csiro.au/>
7. <http://www.cwr.uwa.edu.au/services/models.php?mdid=1>
8. <http://delftsoftware.wldelft.nl/>
9. http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html
10. <http://www.epa.gov/>
11. <http://www.ess.co.at/>
12. <http://www.hrwallingford.co.uk/index.aspx>
13. <http://www.metcon-umb.de>
14. <http://www.noaa.gov/>
15. <http://www.usbr.gov/>
16. <http://www.usgs.gov/>