

호주 유역통합물관리 기술개발 동향과 전망

- 2004 호주 Catchment Modelling School -



고 익 환 | 소장, 한국수자원공사 수자원시스템연구소, ihko@kowaco.or.kr

1. 호주 협력연구센터(CRC)

유역 통합수자원관리를 지원하는 모델링 Toolkit을 소개하는 Catchment Modelling School04가 2004년 2월 9~20일 호주 멜버른대학교에서 개최되었다. 이 workshop을 주관한 CRC(Cooperative Research Centre)는 한국의 21세기 프론티어 연구사업단(수자원의 지속적 확보기술개발 사업단)과 유사한 기능을 가진 기구로서 1991년도에 설립된 이래 공익을 위한 기술혁신과 상용화에 중점을 둔 범국가적 수자원 기술개발을 주도하여 왔다. 이 CRC는 호주 기상국, 무레이 다링 유역위원회 등의 연방정부기관과 빅토리아, 뉴우 사우스 웨일스, 퀸스랜드 등의 주정부, CSIRO Land and Water, 멜보른 대학, 모나쉬 대학, 그리휘스 대학 등의 연구집단과 연계해서 초창기의 1단계 7개년 연구사업 기간('92~'99) 동안 주로 소규모 수자원 환경 예측기술개발과 모형개발을 해 왔으며, 2단계 6개년('99~2006)의 중반인 현재 유역단위의 대규모 모델링에 중점을 두어 8개 분야의 21개 연구과제를 수행하고 있다.

CRC의 주요 임무는 '유역의 자원관리자에게 요구되는 토지이용에 따른 수문학적 영향을 평가하고 유역 수자원관리상의 의사결정 능력을 배양' 하는데 있다. 지난 10여년간의 1, 2단계 연구사업기간 동안 이들이 개발해 온 다양한 유역 모델링 분석도구

(Toolkit)들을 연방정부와 주정부의 수자원 분야 기술직 공무원, 용역업체의 엔지니어, 대학의 연구자들에게 실무교육을 통하여 전파하려는 목적으로 계획된 이 workshop의 내용을 토대로 호주의 유역통합물관리 기술개발 동향을 소개한다.

2. Catchment Modelling School04 개요

300명 이상이 참석한 2주간의 Catchment Modelling School04는 다음의 9개 분야에 대한 38개 workshop으로 구성되었다.

- ① Catchment modelling frameworks(2 workshops)
- ② Climate variability models(2 workshops)
- ③ Environmental flows(4 workshops)
- ④ Rainfall-runoff modelling(4 workshops)
- ⑤ River engineering(5 workshops)
- ⑥ Urban hydrology(5 workshops)
- ⑦ River system and water allocation modelling (4 workshops)
- ⑧ Water quality and modelling(8 workshops)
- ⑨ Modelling support tools(4 workshops)

각 workshop에는 모형개발에 직접 참여한 60여 명의 개발자들에 의해 강의가 진행되었으며, 개발된

모형들의 이론 설명, 시스템 구성과 사용법에 대한 교육 및 예제를 구성하여 실습 위주로 시행되었다.

3. 통합수자원관리를 지원하는 주요 Toolkit

3.1 IQQM

■ 모형의 개요

수량과 수질을 고려한 유역 수자원을 평가하는 IQQM(Integrated Quantity and Quality Model)은 DIPNR(Department of Infrastructure, Planning and Natural Resources)이 개발한 대표적인 모형이다. 이 범용적 수문학적 모의운영모형으로 수량뿐만 아니라 수질 환경문제를 고려한 분석이 가능하며, 조절하천과 비조절하천 모두에 적용할 수 있다. 또한 행정구역 경계간, 환경적 이슈를 포함하는 이해관계가 얽힌 물사용 이해당사자간의 분쟁을 둘러싼 물배분 문제에도 적용 가능하다.

IQQM은 연속형모형으로서 하천모의시 수백년 기간 동안의 모의가 가능하며, 모의 단위시간은 일단위를 기본으로 하나 필요한 경우 시간위의 운영도 가능하다. 시스템은 아래의 8개 모듈로 구성되며, 모형의 초기 인터페이스는 그림 1과 같다.

1. User Interface Shell
2. In-stream Water Quantity
3. In-stream Water Quality
4. Rainfall Runoff
5. Gated Spillway Operation
6. Graphic Tools
7. Statistical Tools
8. Climate Data Tools

모형은 입력자료의 전처리를 위한 모듈과 모의를 위한 모듈, 그리고 결과를 출력하는 모듈로 기능상 크게 분류할 수 있다. 자료를 전·후처리하는 모듈은 처리된 자료를 다양한 형태(linear, semi-log, time series plots)로 출력하며, 히스토그램, 누적곡선, 빈도곡선, 산포도 등 다양한 분석자료를 제공하여 유역 상황과 유역 개발환경 변화를 한눈에 비교 분석할 수 있는 출력자료를 제공한다.

모의를 위한 모듈은 별도로 개발된 모형을 사용하지 않으며, 학술적으로 검증된 모형을 사용하고(Muskingum Routing 방법, Sacramento 모형, QUAL2E 등), 그밖에 다양한 수문요소를 컴포넌트 형식으로 추가하는 방식으로 구성되어 있다.

■ 모형의 특성

IQQM은 사용자 인터페이스가 매우 편리하게 구성되어 있다. 또한 개발초기단계부터 최종사용자에 대한 명확한 정의와 완벽한 사용자 위주의 개발자의 세세한 배려가 느껴지는 모형이다. 입출력자료의 전·후처리가 탁월하여 계획단계에서 계획자 및 컨설턴트가 유역상황과 유역개발환경의 변화에 따른 다양한 시나리오에 대한 분석결과를 모형으로부터 제공받음으로써 유역 자원관리자가 능동적인 의사결정 지원을 받을 수 있는 모형으로 판단된다.

IQQM모형은 Lahey 컴파일러를 이용한 포트란 90에서 개발되었으며, 현재 컴포넌트별 개발이 진행 단계에 있으며 향후 TIME(The Invisible Modelling Environment) 환경에 맞추어 새롭게 구성할 계획을 갖고 있다.

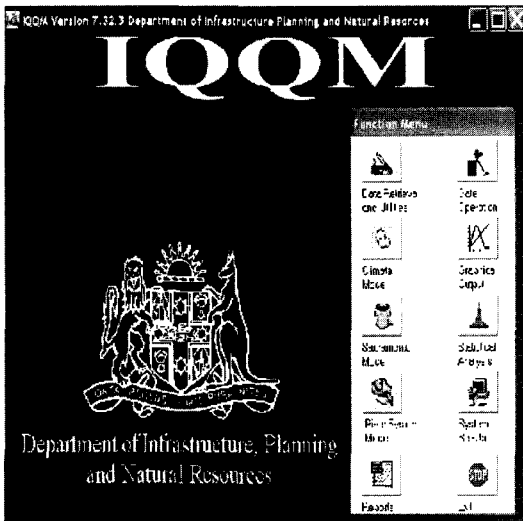


그림 1. IQQM 초기 화면

■ 모형의 적용사례

IQQM모형은 호주의 뉴우 사우스 웨일스와 퀸스랜드주, 인도네시아와 메콩강유역의 수자원 계획 평가용으로 적용되었다. 무레이 다링 유역위원회는 향후 이 모형을 단기 유역물배분 운영목적으로 적용을 추진 중에 있다. 특히 메콩강위원회의 2대 장기 수자원계획 프로젝트인 WUP(Water Utilization Program)에의 적용에 이어서 BDP(Basin Development Planning)에의 적용도 추진되고 있다. 그러나 다른 대규모 수자원 계획모형과 마찬가지로 IQQM도 유역의 상황을 정확히 모의하기 위해서는 유역과 하천정보, 강우, 증발량, 제내·외 저류지 정보, 물 사용량, 작물형태·면적별 물사용 패턴, 펌핑능력, 운영률 등 다양한 입력자료가 요구되므로 이러한 입력자료의 수급 가능성이 여전히 문제점으로 남는다.

3.2 WRAM

■ 모형의 개요

수자원의 계획과 관리를 지원하는 수문학적 네트워크 모형이 광범위하게 사용되고 있으며, 전술한 IQQM도 이러한 목적에 의해 개발된 모형으로 수자원 관리정책과 자연환경의 변화 및 물사용 패턴변화의 영향에 대한 평가를 일단위로 모의 가능하다. 이러한 수문학적 네트워크 모형에서는 용수배분에 따른 물 거래나 조정에 대한 정보가 필요하므로 모형 안에서 효율적인 물이동을 모사하기 위해서는 작물패턴과 용수 수요를 경제적 관점에서 조정하는 기능이 중요하다. 물 이동은 수자원 관리에 상당한 수문학적 영향을 미칠 뿐만 아니라 경제활동에서 발생하는 경제적 동기부여와 이익에서 파생되는 기본적인 요소이다. 이러한 물 거래는 환경·사회·경제적 제약조건 아래 수요자와 공급자간 최대이익이 교차하는 시점에서 이루어진다.

수문·경제학적 모형인 WRAM(Water Reallocation Model)은 유역 기상조건, 토지이용상태, 정책방향 등의 변화로 인한 영향을 종합적으로 고려 가능한 틀로 개발되었으며, 수문학적 물배분 모형인 IQQM과 연계되어 운영된다. WRAM의 주된 기능은 Crop Mix와 물

수요를 모의하여 수자원의 배분과 할당을 모의가능한 모형(IQQM)으로 모의 결과를 제공하는데 있으며, 최적화기법으로 선형계획법을 사용한다.

■ WRAM 모형의 특성

WRAM은 토지이용, 물이용상태, 펌핑능력, 작물주기 등의 제약조건에 따른 이윤을 최대화하는 모형으로서 AMPL과 GAMS를 이용하여 최적해를 구한다.

3.3 TIME

■ 모형의 개요

TIME은 메타데이터기반의 모형의 개발, 테스트, 모의환경과 같은 모형개발 전반에 대한 소프트웨어 개발환경을 지원해 주는 도구로서 Catchment Modelling Toolkit의 근간을 구성하는 요소이다. TIME은 다양한 데이터 타입뿐만 아니라 모의·보정모형의 테스트와 통합을 지원하고 관리할 수 있는 기능을 가지고 있다. TIME은 크게 내장된 모델 Visualization, Statistics, Calibration, Integration 기능을 이용하게 되며, 사용자는 모델의 Core 부분의 프로그램만을 수행하면 된다.

기존의 모델 개발방식은 Pre-process와 Post-process 부분 구축에 많은 노력이 필요했다. 또한 모델의 보정, 확률통계처리 등의 부분은 별도의 모듈을 개발하여 삽입하거나 기존의 모듈을 수정하여 개발모델에 붙이는 형태로 주로 작업이 이루어졌다. 그러나 TIME에서는 이러한 전·후처리과정을 지원하므로 모델개발자가 모델의 Core(이론적인 부분)에만 역량을 집중하도록 할 수 있게 한다. 또한 기존에 개발된 모델을 TIME에서 실행하면 사용자편의환경(Graphic User Interface)을 통하여 이를 사용할 수 있도록 하고 있다. 즉 누구나 모델에 관한 지식만을 가지고 있다면 모델을 수행하는 데 별다른 어려움 없이 모델을 실행시키고 보정할 수 있도록 하고 있는 것이다. 따라서 좀더 복잡한 모델을 개발할 경우 TIME의 전·후처리 프로세스를 사용하면 좀더 빠르고, 경제적으로 모델을 개발할 수도 있다. 현재는 호주 CRC-CH의 모든 모델이 TIME 기반위에서 구축된 형태는 아니지만

향후 IQQM을 비롯한 주요 모델들을 TIME의 공통 라이브러리를 사용하여 구축할 계획을 갖고 있다.

■ 모형의 특성

TIME의 주요 기반은 .NET이다. 프레임웍은 메타 데이터에 기반을 두고 있으며, 모델개발에 있어 다음의 3가지 분야의 지원을 주요 기능으로 한다.

• Coding Models

TIME은 모델의 입출력 부분은 TIME의 자체 Component를 사용하지만, Core 부분은 사용자가 직접 코딩을 하여 짜도록 되어있다. Coding은 .NET 기반에서 실행이 가능한 언어는 모두 사용 가능하다. 따라서 VB.NET, Fortran 95.NET, C++, J#, C#이 사용가능한 언어이며, 사용자의 프로그래밍 언어를 사용하여 컴파일한 결과를 DLL 형식으로 컴파일하여 저장한 후 VisualTIME에서 DLL파일을 IMPORT하여 모델개발을 수행하도록 하고 있다.

• Testing and Applying Models

TIME 속에는 Built-in된 형태로 Visualization, Statistics, Calibration, Integration 모듈을 포함하고 있다. 따라서 사용자는 내장된 기능들을 사용하여 모델을 테스트하거나 Calibration을 수행할 수 있으며, 이러한 기능 등은 모두 Visualization되어 사용자가 확인 가능하다. 특히 Drag & Drop 형태로 모든 파일의 입력 및 이동이 이루어지므로 User Friendly Interface를 구현하고 있는 것이 그 특징이다.

• Delivering Models

TIME에서는 개발된 모델을 여러 가지 형태로 배포할 수 있다. 배포 가능한 형태를 살펴보면 Window Application, Web Applications, Command Line Utilities이다.

3.4 SedNet

■ 모형의 개요

SedNet은 유역의 토양침식과 이송, 영양염류수지

등을 연간단위로 모의하는 모형으로서 현재 개발된 Version 1.0에서는 토양침식 모듈만 개발된 상태이고, 2004년 6월까지 수질관리를 위한 영양염류수지 모듈을 추가하여 Version 2.0을 내놓을 계획이다. 이 모형은 유역의 토양침식과 영양염류 유출의 주요 프로세스와 취약지역을 결정하는 도구로서 유역관리 계획의 우선순위의 목표를 설정하는데 도움을 주며, 가장 경제적이고 효과적인 유역제어방법을 검토하는데 사용된다. SedNet은 ArcGIS와 같은 지형정보소프트웨어에서 생산된 지형정보자료(토양도, 식생피복도, 지질 및 지형도, 수치고도자료 등)를 이용하는 공간모델링 기법을 활용함으로써 복잡한 유역내 프로세스를 손쉽게 해석할 수 있도록 지원한다. SedNet은 유역의 크기가 103~106km²로써 비교적 큰 유역에 적합하며, 모형의 결과는 유역 전반에 걸친 일반적인 경향으로 해석하는 것이 바람직하다.

■ 모형의 분석과정

SedNet의 모의 분석과정은 그림 2와 같이 유역에 대한 정의과정(Configuration)과 시나리오분석과정(Scenarios)으로 나누어 수행된다. 유역의 정의과정은 수치고도자료를 이용하여 하천의 하도를 정의하고

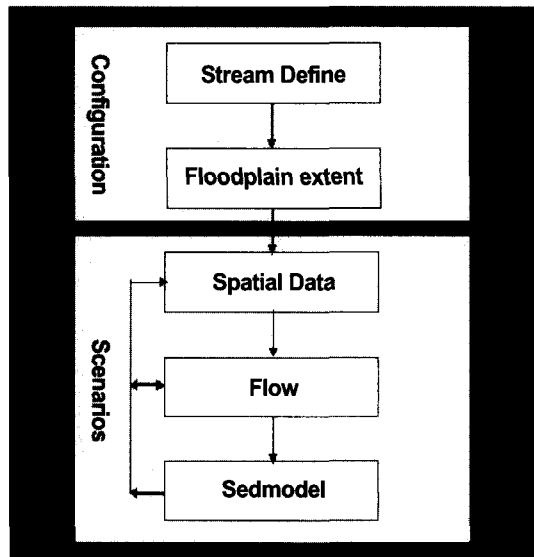


그림 2. SedNet의 모의분석과정 개념도

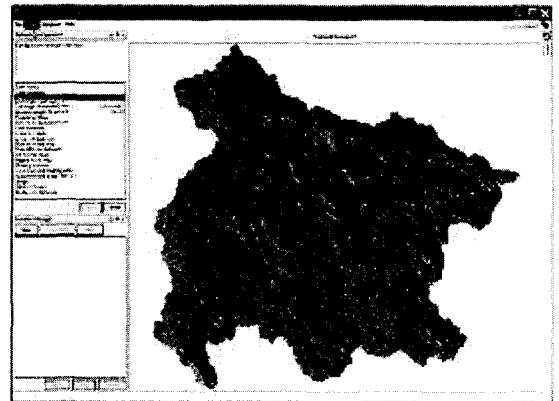
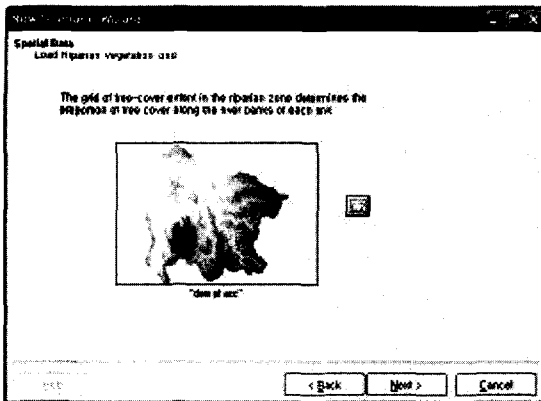


그림 3. 유역의 새로운 시나리오 생성 및 DEM 자료로부터 생성된 하천도

별로 준비된 홍수터 Shapefile을 지정하여 홍수터의 범위를 지정하는 것으로 구성된다. 시나리오분석 과정에서는 공간 지형정보자료들을 지정한 후, 일별 하천유량자료를 업로드한다. 이때 유량자료가 댐에 의해 조절된 경우 조절유량자료도 고려할 수 있도록 되어 있다. 공간자료와 유량자료가 준비되면 Sedmodel을 수행하여 유역내 토양침식량(hillslope erosion), gully 침식량, 제방 침식량(bank erosion) 등을 계산하게 된다.

■ 모형의 적용사례

SedNet은 호주의 National Land and Water Resources Audit 프로젝트에서 토지이용과 수자원 관리 계획을 위해 적용되었으며, 유역의 수질과 수생태계 서식환경 개선을 위한 유역과 하천관리 실행계획을 효과적으로 수립하는데 널리 활용되고 있다.

4. 통합수자원관리 기술개발 동향 및 전망

Catchment Modelling School04에서 소개된 다양한 모델링 Toolkit을 통하여 현 단계의 호주의 통합수자원관리 기술개발 동향과 기술수준을 가늠할 수 있었다. 특히 이 나라가 당면한 유사, 염도, 부영양화 문제, 물배분, 수생태 보존 문제 등을 유역 단위의 통합수자원관리의 관점에서 해결해 나가기 위하여 수문, 기상, 지형, 생태환경 및 경제성을 고려한 통합적

모델링 기반을 정부와 산학연의 전문가 집단간의 긴밀한 협력 체계 아래 일관성을 갖고 꾸준히 구축해 나가는 과정이 매우 인상적이었다. 더욱이 개발되는 기술들이 단순한 학술적인 연구시도로 그치지 않고 실용화와 상용화를 전제로 개발한 뒤 국가와 지역의 자원관리자들이 토지이용에 따른 수문학적 영향을 평가하고 대규모 유역단위의 효율적인 수자원관리 의사결정을 하는데 실제로 적용해 나갈으로써 국가 수자원 기술능력을 고부가가치화하고 정부와 물관리기관, 수자원관련 기술자들의 실질적인 분석능력을 배양해 나가는 전략도 우리에게 중요한 귀감이 되는 점이라 하겠다.

이렇듯 지난 10여년간의 집중적인 노력으로 호주는 기후나 토지이용, 하천관리상의 변동으로 주요 제어지점에서의 유량, 유사량, 염도나 오염부하량이 변화할 경우의 다양한 조건의 유역 수자원과 환경생태적인 반응을 과학적으로 해석할 수 있는 기술적 기반을 이미 확보한 상태이다. 현재 호주 CRC는 기업(enterprise), 환경(environment), 교육(education)과 연계하여 2 단계까지 개발된 기술을 확산발전시키는 차세대 eWater Project(2005-2012)를 준비하고 있다.

5. 참가소감

Catchment Modelling School04를 통하여 이수·치수 및 환경을 고려한 통합수자원관리 기술개발 및 실무적용에서 세계적으로 앞서가는 호주의 관련 기술

동향과 수준을 파악해 볼 수 있는 중요한 기회를 얻게 되었다. 좀 더 자세한 정보를 얻고 싶은 독자는 Toolkit web site(www.toolkit.net.au)를 방문하기 바란다.

이번 Catchment Modelling School04 기간 중의 주말인 2월 14일에는 한국의 '수자원의 지속적 확보기술개발 사업단' 및 주요 연구 참여자와 호주 CRC 및 연구진들과의 국제공동심포지엄이 열렸다. 이 심포지엄의 발표와 토론을 통하여 통합수자원관리 기술개발 및 전망에 관한 연구개발 정보를 교류하는 계기가 마련되기도 하였다.

앞으로 한국이 유역통합 수자원관리기술 분야에서 세계 최고수준의 경쟁력을 확보하려면 우리보다 10여

년 앞서서 이 분야의 기술개발에 주력하고 있는 호주의 물관련 연구기관 및 수자원 전문가들과의 연구정보의 교류, 공동연구 촉진, 개발된 기술과 전문지식의 공유 등의 적극적인 기술교류를 통하여 국제화시대에 우리의 수공학 기술을 향상시키는 중요한 전기로 삼았으면 한다.

감사의 글

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

화보 4 : 교량주춧돌(2004. 3. 10)

수표교 기둥을 받치기 위해서 놓은 주춧돌이다.

