

저수지와 수계운영을 통한 물배분모형의 비교



정 건 회 |

Visiting research associate, University of Arizona
gunhui@email.arizona.edu



김 태 용 |

한양대학교 건설환경시스템공학과 교수
twkim72@hanyang.ac.kr

1. 머리말

수계운영은 하천과 저수지의 이용 가능한 수량으로 수자원의 개발, 보전, 규제, 보호, 분배, 이용을 포함한다. 그 방법으로 저수지나 댐의 건설을 들 수 있는데, 이는 생활·공업용수 공급이나 관개, 수력발전, 혹은 하천의 유지용수공급을 목적으로 하며, 특히 댐은 홍수 조절에 매우 효과적이다. 홍수조절이나 용수보급을 위한 저수지나 댐의 건설은 강우가 특정 시점에 집중된 우리나라와 같은 조건에서는 안정적 물공급을 위해 필수적이다. 또한, 이처럼 특정시점이나 지점에 집중되는 물을 필요한 시기나 장소에 충분한 양질로 공급하기 위해서는 효율적인 저수지/수계의 운영이 매우 중요한 결정인자가 된다. 그러나 최근에는 기후뿐만 아니라 다양한 사회적인 욕구 충족을 위한 물공급 또한 저수지/수계운영의 다른 요인으로 떠오르고 있다. 지구 온난화 등의 이유로 변화되는 기후는 때로 극심한 가뭄을 유발하기도 하고, 변화되는 사회의 다양한 요구, 혹은 수자원 관련 법의 제·개정 등은 레크리에이션 혹은 자연환경보전을 위한 충분한 양질의 물 공급을 요구한다. 이

렇게 다양한 욕구를 충족시키기 위해 비약적으로 발전하는 컴퓨터기술이 매우 유용하게 사용될 수 있다. 다양해지는 요구를 모두 포괄하는 복잡하고 현실적인 모형의 개발이 가능하면서도 사용이 편리하고 다양한 결과분석능력을 갖춘 모형들의 등장은 한 단계 높은 수준의 수계운영을 가능하게 한다. 최근에 개발된 대부분의 모형은 컴퓨터 모형에 대한 전문적인 지식이 없는 사용자라도 편리하게 이용할 수 있는 인터페이스를 가지고 있고, 점점 더 많은 제약조건들을 의사결정에 반영할 수 있게 되었다. 그러므로 연구목적에 부합되는 모형을 선택하는 것 또한 정책결정자의 중요한 임무가 되었다. 최근 Hydrosphere Resource 컨설턴트 (2007) 가 콜로라도 수자원학회(Colorado water congress annual convention)에서 미국의 콜로라도 주에서 주로 쓰이는 모형에 대한 비교 분석을 한 바 있고, 그에 앞서 Wurbs (2005)가 각 모형의 특징들을 비교하고 분석한 보고서를 미 공병단(U.S. Army Corps of Engineers, USACE)에 제출하기도 하였다.

본 기사에서는 최근에 널리 쓰이고 있는 6가지의 저수지/수계운영모형의 특징에 대해 살펴봄으로써 물배분 모형의 선택 시 참고할 수 있도록 하였다.

저수지/수계운영모형을 개발하고 있는 곳은 크게 미 공병단과 미국의 각 주 수자원국, 학교, 개인회사나 연구소 등으로 나누어진다. 미 공병단에서 개발된 모형들의 대부분은 이미 널리 사용되고 있으며, 비용이 들지 않는 장점이 있고, 반면에 개인회사나 연구소에서 개발된 모형은 비싸지만, 사용자 인터페이스가 잘 개발되어 있고, 결과분석능력이 뛰어난 장점이 있다. Table 1에는 본 기사에서 비교할 저수지/수계운영모형들과 그 개발자들이 나열되어 있다.

Table 1. Generalized reservoir/river system models discussed in this article

Name	Descriptive Name	Model Development Organization
CWMS	CORPS WATER MANAGEMENT SYSTEM	USACE Hydrologic Engineering Center http://www.hec.usace.army.mil/cwms/cwms.html
HEC-ResSim	RESERVOIR SYSTEM SIMULATION	USACE Hydrologic Engineering Center http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ressim/
RiverWare	RIVER AND RESERVOIR OPERATIONS	Bureau of Reclamation, Tennessee Valley Authority, Center for Advanced Decision Support for Water and Environmental Systems (CADSWES) http://cadswes.colorado.edu/riverware/
MODSIM	GENERALIZED RIVER BASIN NETWORK FLOW MODEL	Colorado State University, Bureau of Reclamation http://modsim.engr.colostate.edu/
WEAP Powersim Studio	WATER EVALUATION AND PLANNING MODELING SYSTEM	Stockholm Environmental Institute Boston Center at Tellus Institute http://www.weap21.org/ Powersim Software, http://www.powersim.com/

2. Corps Water Management System (CWMS)

CWMS는 현대화된 HEC의 수자원관리모형

(water control management software system)

으로서, 자료의 수집, 처리, 검정, 저장, 출력, 해석, 정보의 공유를 모두 포함하는 통합모형이다. 주요

목적은 하천수위나 저수지 저류량, 강우량, 수질자료 등을 실시간으로 고려한 홍수조절과 다목적 저수지 운영에 있다. CWMS는 네트워크로 구성된 클라이언트-서버 시스템으로, 실시간 자료획득 모형, ORACLE을 이용한 자료의 처리/저장모형, 표, 그래프, 지도 등을 통한 자료의 출력모형, 인터넷 웹 페이지 등을 통한 정보의 공유모형, 모든 정보를 이용한 모의모형을 포함한다. 모의모형은 HEC-HMS, HEC-ResSim, HEC-RAS, HEC-FIA 등을 포함하고 있다. Fig. 1은 CWMS에 의한 자료획득모형의 한 예이다.

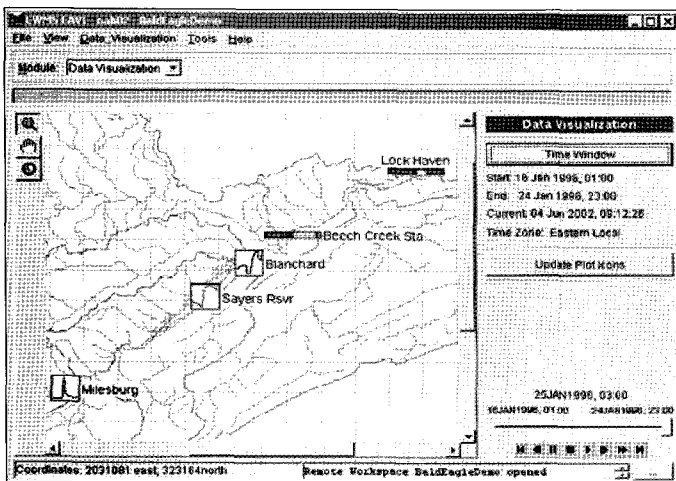


Fig. 1. The data acquisition module in CWMS (Fritz et al. 2002)

3. HEC-ResSim (Hydrologic Engineering Center Reservoir System Simulation) Model

HEC-ResSim은 미 공병단에서 20년 이상 사용되어 온 HEC-5를 대체하기 위한 차세대 모형으로, 1996년부터 개발되기 시작하여 현재 version 3.0이 출시되어 있다. ResSim은 매우 편리한 사용자 인터페이스를 갖추고 있는 다중저수지 (multi-reservoir) 운영모형이다. HEC-ResSim은 모형의 배경에 지도를 삽입할 수 있어서 실제 유역의 생생한 도시가 가능하다. 저수지는 호수와 댐으로 구분하여 모의하며, 호수 저수량은 저수지용량곡선을 이용하여 계산되고, 댐은 호수와 별도로 여수로와 갑문으로 나

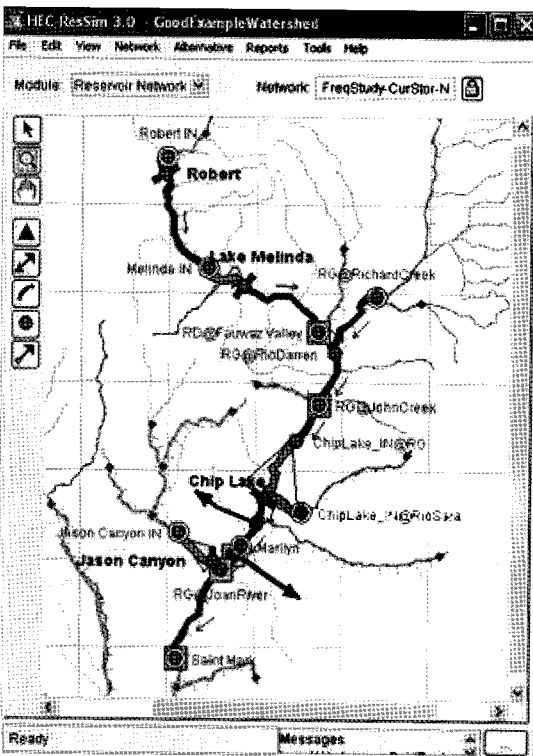


Fig. 2. Example of Hec-ResSim (One or more geo-referenced maps of the watershed can be inserted as a background.) (<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ressim/features.html>)

누어 펌프 등의 설치를 허용함으로써 정확한 모의가 가능하게 하였다. 또한, 의사결정모형은 모형에 알맞은 목적함수와 제약조건을 적용할 수 있게 하여, 정책결정자의 결정을 돕는 기능을 한다. 필요에 따라 저수지 유출구의 선택이나 if-then-else 법칙 같은 복잡한 모의도 가능하다. 다양한 추적방법과 15분에서 하루까지 모의 시간간격을 선택할 수 있다.

4. RiverWare

RiverWare는 일반화된 저수지/하천 모의를 위한 모형으로서 세 가지의 모의모드, 즉, 단순모의(pure simulation), 규칙기반모의(rule-based simulation), 최적화(optimization)로 구성되어 있다. 단순모의는 사용자의 입력 자료에 따라 모형을 모의하는 방법으로, 충분하고 정확한 입력 자료를 요한다. 규칙기반

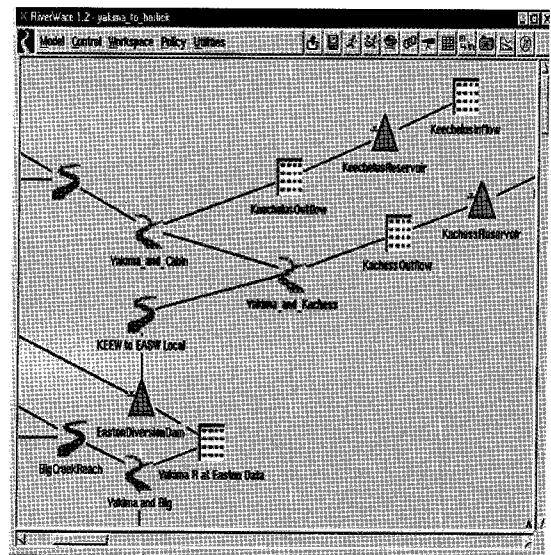


Fig. 3. Computer screen showing model layout of RiverWare for the upper Yakima River having two reservoirs, a diversion dam, inflows, outflows, and six reaches (RiverWare, <http://wa.water.usgs.gov/projects/yakimawarmp/warmp/riverware.htm>)

모의는 사용자에게 의해 우선순위가 결정되어 입력된 if-then 운영조건에 따라 저수지운영을 모의하는 방법이다. 마지막으로, 선형계획법에 의해 개발된 최적화 모드는 주어진 제약조건을 만족하는 최적해를 구할 수 있게 하는 모형이다. 물배분, 홍수조절, 하류수량유지, 레크리에이션, 어류나 야생동물의 서식지 보호, 전력량 공급 등의 다중목적함수 모의도 가능하다. 또한 수질의 모의가 가능하며 추적방법과 1시간에서 하루까지의 모의시간간격의 선택이 가능하다. 그러나 사용자 인터페이스가 너무 광범위해서 익히기가 쉽지 않은 단점이 있다. 또한, 최적화 모형은 복잡한 수리권 문제를 잘 다루지 못한다.

5. MODSIM

MODSIM은 1970년대부터 Colorado State University에서 개발되기 시작하였고, 1992년 이후에는 미개척국(U.S. Bureau of Reclamation)의 지원에 의해 지속적으로 보완되고 있는 유역의 물배분 모형 개발을 위한 네트워크 흐름 모형이다. MODSIM은 MODFLOW와 QUAL2E를 결합하여 지하수, 지표수를 상호연결하고 수질인자를 모의할 수 있다. 월별모의(monthly time step), 주별모의(weekly time step), 일별모의(daily time step)가 가능하고, 사용자 인터페이스가 편리하게 잘 개발되어 있다. 사용자에게 의해 정의된 우선순위에 따라 물 배분이 고려되지만, 매번 하나씩의 시간간격만 모의하기 때문에 미래의 상태는 결정에 영향을 미치지 못한다. 또한, 여러 명의 소유주들 사이의 수리권을 모의할 수가 없으며, 규칙기반모의가 어려운 경우가 있다.

6. Water Evaluation and Planning (WEAP) Modeling System

WEAP은 지표수와 지하수로부터 제한된 수원을 물

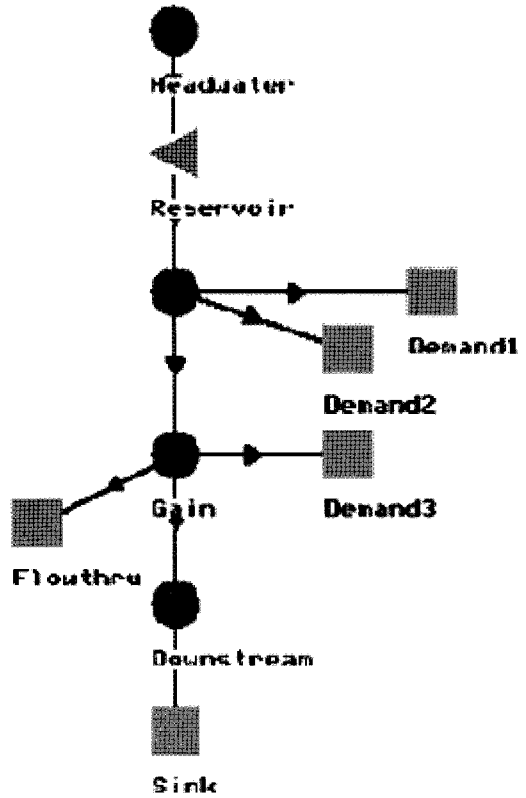


Fig. 4. Example of MODSIM (<ftp://ftp.engr.colostate.edu/people/labadie/modsim/Documentation/NewManual.pdf>)

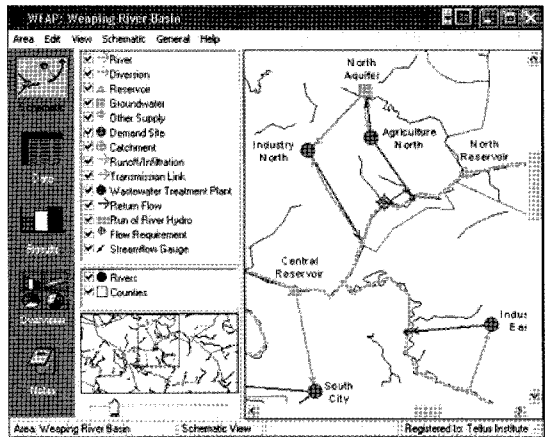


Fig. 5. Example of WEAP (<http://www.weap21.org/>)

수지 분석을 통해 생활용수, 농업용수, 혹은 자연환경보전을 위한 용수 등 다양한 물수요처로의 물 배분을 모의하기 위한 모형이다. WEAP은 물수지 자료의 유지, 관리, 물 배분 시나리오의 개발, 정책분석을 위해 개발되었다. 입출력 자료는 스프레드시트와 연계가 가능하다. 최적화는 불가능하지만, 다양한 시나리오에 의한 모의만 가능하다. WEAP은 한글버전인 K-WEAP이 우리나라의 과학기술부와 건설교통부가 지원하는 21세기 프론티어 사업의 일환으로 수자원의 지속적 확보기술개발사업단에서 개발되어 현재 한국에 판매되고 있다.

7. Powersim Studio

Powersim Studio는 Powersim Software에서 개발된 객체지향적인 동적모형(object-oriented system dynamic model)으로서, 일반적인 동적 모형개발을 위

해 개발되었다. 이 모형은 시간에 따라 달라지는 상태를 모의하거나 상호 연결되어 있는 입력 자료의 변화를 통한 동적 모의가 가능하다. 이는 매우 편리한 사용자 인터페이스를 가지고 있어서 모형을 처음 접하는 사용자라도 짧은 시간에 모형의 구조를 파악할 수 있다. 또한, 스프레드 프로그램, Visual C++, Visual Basic, 웹 프로그래밍 언어 등과 연계가 가능하므로, 모형의 응용 영역확대가 용이하다. 객체지향적인 모형은 교육, 경영, 과학, 공학 등 여러 분야에 응용가능하며, VENSIM (Ventana Systems, Inc.), STELLA (ISEE Systems, Inc. <http://www.iseesystems.com/>) 등 여러 비슷한 모형들이 개발되어 있다. Sumer 등 (2006)은 Upper San Pedro 지역의 수계모형을 Powersim Studio를 사용하여 개발하는 등 수자원 분야로도 많은 응용이 되고 있다. 그러나 일반적인 동적모형의 개발을 위한 모형이므로, 사전에 제공되는 루틴이 없어서 모든 것이 처음부터 개발되어야 한다는 단점을 가지고 있다.

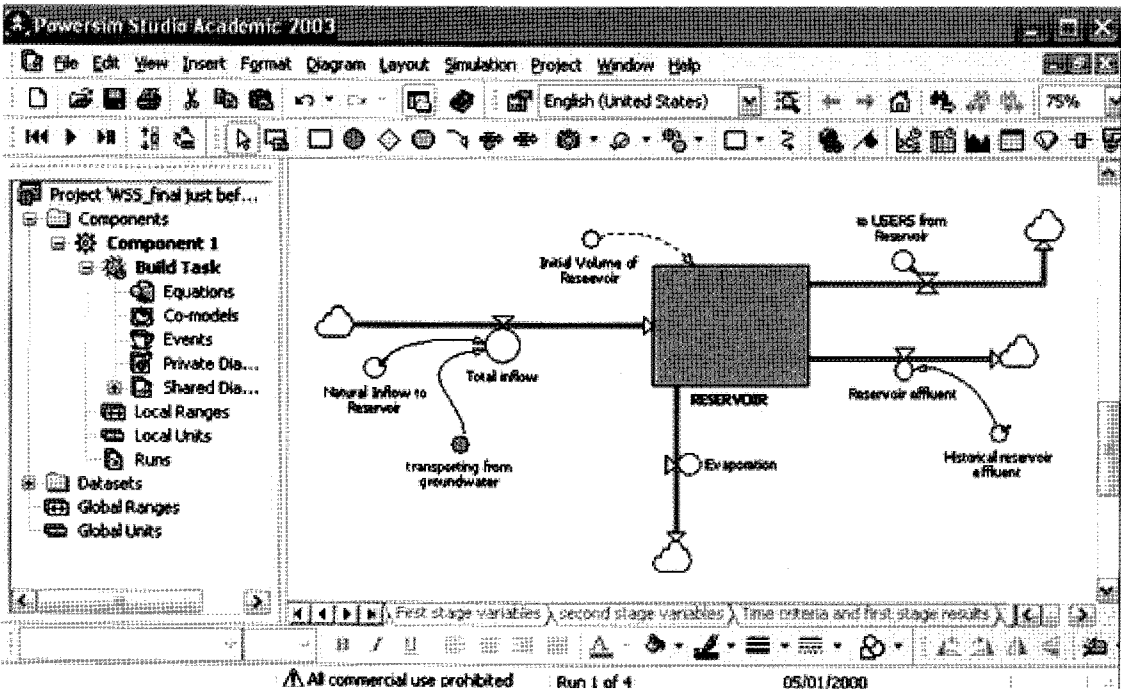


Fig. 6. Example of Powersim Studio

맺음말

본 기사에서 설명한 6가지의 모형은 모두 최근에 개발되어 가장 활발하게 사용되고 있는 모형들이다. 가장 큰 특징으로는 링크, 노드 등을 이용한 매우 편리해진 사용자 인터페이스와 확장성을 들 수 있다. 특히, 지도 삽입, 스프레드시트와의 연계 등 모형의 활용범위가 과거에 비해 매우 확장되었으며, 저수지 운영조건이나 제약조건 등 사용자에 의한 통제 기능 또한 많이 강화되었다. 하지만, 모형마다 제공하는 모의 방법이나 모의 가능 정도가 다르므로, 가장 적절한 모형을 선택하여 과제를 수행하는 것이 매우 중요하다고 생각한다.

감사의 글

본 기사는 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구구성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2007-331-D00489)으로 작성되었습니다.

참고문헌

- Fritz, J.A., Charley, W.J., Davis, D.W., and Haines, J.W. (2002). "New water management system begins operation at US projects." *Hydropower & Dams*, Vol. 3, pp. 49-53.
- Sumer, D., Chung, G., Richter, H., and Lansey, K. (2006). "Decision support system for managing conflict in the Upper San Pedro subwatershed, AZ." *Proceedings of Operations Management 2006 Conference*, Sacramento, CA, 60-68.
- Winchester, J. (2007). Is your model right for your job?. *Southwest Hydrology*, Vol. 6, No. 3, pp. 10-11.
- Wurbs, R.A. (2005). Comparative evaluation of generalized river/reservoir system models. Texas Water Research Institute Technical Report 282.