

수자원 관리를 위한 Object-Oriented Simulation Software들의 소개

김영오 (Research Associate, Global Hydrology and Climate Center, U.S.A.)

1. 머리말

수자원 관리를 위한 simulation 모형은 복잡한 수자원 시스템을 표현하고 분석하기 위해 오랜 기간 널리 이용되어왔다. 이러한 수자원 simulation 모형은 주로 고급 programming 언어인 FORTRAN을 통하여 1950년 대 이후 개발 되어왔는데, 널리 알려진 모형들로는 HEC-3, HEC-5, SIMLYDII, CVPower 등이 있다 (Yeh, 1985). FORTRAN 언어로 만들어진 simulation 모형은 복잡하고 방대한 계산을 효과적으로 처리할 수 있는 장점이 있으나, (1) 모형을 개발하는 데 많은 노력과 시간이 필요하고, (2) programmer 이외의 사람이 모형을 사용하고자할 때, program의 수정 또는 보완이 용이하지 않으며, (3) 모형의 수행 결과를 일반인에게 효과적으로 전달하기 어려웠다. 그러므로, 지금까지 개발된 수자원 simulation 모형들은 많은 경우 실용화되지 못하고 연구개발에만 그치게 되었다 (Palmer et al., 1993). 이 단점들을 보완하기 위해 최근의 경향으로 Object-Oriented Simulation (OOS) software의 사용이 두드러지는데, 이 OOS 모형은 기본 object (또는 icon) 들을 computer 화면상에서 선택하고 연결하여 만들어지기 때문에, (1) 모형을 개발하는 데 필요한 시간을 현저히 줄일 수 있었고, (2) program에 대한 전문 지식 없이도 적절히 모형을 사용, 수정, 그리고 보완할 수 있으며, (3) 시스템의 구성과 모형의 수행 결과 등을 쉽게 표현할 수 있었다. 특히, 수자원 관리와 같이 한정된 자원의 효율적 이용에 여러 집단의 이해관계가 얽혀있는 경우, OOS 모형을 이용한 경우, 초기

단계에서부터 그들의 폭 넓은 의견을 모형화 과정에 반영함으로써 보다 현실성 있고, 보다 많은 대상에게 신뢰를 주는 모형을 만들 수 있었다. 이 글에서는 위와 같은 목적으로 수자원 관리에 적용될 수 있는 OOS software로 STELLA, EXTEND, 그리고 RiverWare를 소개하고 그들의 장단점을 살펴보고자 한다.

2. 일반 상용 OOS Software: STELLA 와 EXTEND

1980년대 말부터 개발되기 시작한 OOS software에는 몇 가지가 있으나, 가장 널리 사용되고 있는 것으로 High Performance System의 STELLAII (System Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation II)와 Imagine That의 EXTEND를 꼽을 수 있다. STELLA와 EXTEND는 1990년 이후 기초 과학 분야에 사용되기 시작하였으며 수자원 분야에는 1991년 처음 그 필요성이 소개되었다 (US Army Corps of Engineers, 1991). 그 후 1992년 Karpack과 Palmer 가 STELLA를 water supply system 관리를 위한 simulation에 적용한 이후, OOS는 STELLA를 중심으로 수력 발전을 위한 저수지 관리 (Kim and Palmer, 1993), 가뭄 대책을 위한 negotiation tool의 개발 (Keyes and Palmer, 1993), ACF-ACT 유역 관리를 위한 shared-vision 모형의 개발 (Werick et al., 1996) 등 수자원 관리 전 분야에 걸쳐 널리 사용되어지고 있다. 이들은 OOS를 모형화 기법으로 사용함으로써, 모형을 개발

표 1. Object-Oriented Simulation Software

STELLA II	High Performance Systems, Inc. <address> 45 Lyme Road, Suite 300 Hanover, NH 03755 U.S.A. <telephone> (800) 332-1202, (603) 643-9636 <internet> http://www.hps-inc.com <email> support@hps-inc.com
EXTEND	Imagine That, Inc. <address> 6830 Via Del Oro, Suite 230 San Jose, CA 95119 U.S.A. <telephone> (408) 365-0305

하는 데 소요되는 시간과 비용을 줄일 수 있었고, 동시에 다 방면의 참여를 유도해 모형의 비현실성을 줄이고, 가능한 여러 가지 대체 안을 수용할 수 있었다 (Palmer et al., 1993).

STELLA와 EXTEND는 모두 Macintosh와 PC 용으로 각각 상용화 되어있고, 특히 STELLA는 표 1에 나타난 바와 같이 internet site를 이용하여 demo version을 download 받을 수 있다. STELLAII는 원래 Macintosh 용으로 처음 개발되어 현재 version 5.0까지 나와있다. 그러나 version 3.0.7 이후의 version들은 다양한 기능이 첨가되어있지만 계산과 저장속도가 느리므로, 필자의 견해로는 먼저 version 3.0.7을 이용하여 원하는 모형을 만들고, 필요한 경우 4.0 이 후의 version으로 변환하는 방법을 권하고 싶다.

STELLA는 거의 모든 작업이 mouse로 'point & click' 하여 이루어지고, graphic 기능이 뛰어나 초보자도 큰 어려움 없이 쓸 수 있으나, 계산 능력 면에서는 EXTEND에 비해 제한점이 많다. 예컨대, FORTRAN program에서 do-loop으로 수행되는 반복계산 (iteration)이 불가능하고 외부 program과의 data 교환이 어렵다는 단점이 있다. 반면, EXTEND는 어느 정도의 programming 기법이 필요하고 graphic 기능이 떨어지는 등, 모형을 만들고 사용하는 데 STELLA에 비해 상대적으로 불편하지만, 32-bit

executable code를 사용하므로 계산 속도가 빠르고, 반복계산이 가능하다. 특히, DLL (Data Link Language) 기능을 가지고 있어 외부의 software 나 program들과 data를 주고 (export) 받는 (import) 등의 정보교환을 할 수 있다. 예컨대, 이 DLL 기능을 이용하면, 저수지 운영률 산출을 위해 FORTRAN으로 개발된 최적화 모형을 EXTEND로 개발된 simulation 모형과 연결하여 실행할 수 있을 것이다. 그러므로, 시 단위 운영 모형 (hourly operation model)과 같이 빠르고 반복적인 수행이 필요한 경우에는 EXTEND가 더 유용하겠지만, 연 단위 계획 모형 (yearly planning model)과 같이 비전문인을 포함한 다양한 사용자들이 계획 수립 과정에 관여하는 경우에는 STELLA가 더 적절하다고 본다. 이 중 STELLA는 OOS에대한 경험이 부족한 경우에도 사용하기 편리하고, 최근 몇 년간 수자원 관리에 많이 적용되어 왔으므로 그 기본 기능을 잠시 살펴보도록 하겠다.

STELLA를 이용하여 개발된 simulation 모형은 그림 1의 상단에 보이는menu bar에서 stock, flow, converter, 그리고 connector 등의 4가지의 object 들로 이루어진다 (그림 1). 다루고자하는 물질은 flow를 통하여, stock으로 들어가고 또 나갈 수 있는데, 매 시간 t 동안 유입량 It와 유출량 Ot의 차이는 stock (St)의 변화 dS를 가져온다. (즉, $dS = St + 1 - St = It - Ot$.) 저수지 system의 경우, stock은 저수지의 저류량으로, flow는 저수지의 유입, 유출량으로 사용될

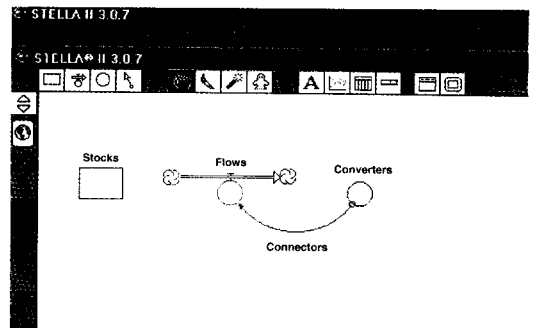


그림 1. Basic User Interface and Modeling Icons in STELLA

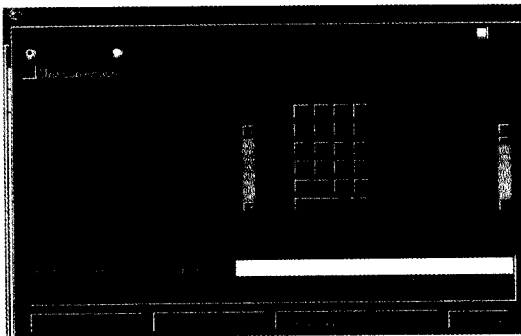


그림 2. Equation Input Window in STELLA

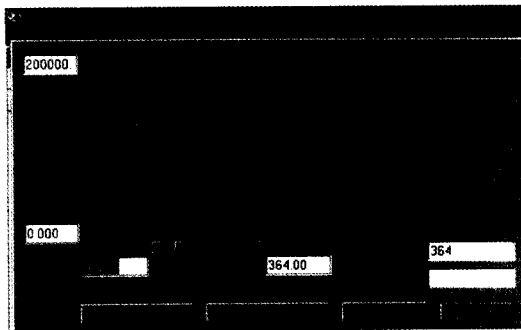


그림 3 Graph Input Window in STELLA

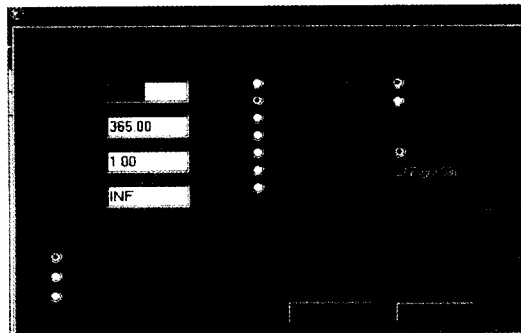


그림 4 Parameters for Running a Model in STELLA

수 있다.

converter는 flow 나 다른 converter에게 영향을 미치는 요소를 나타낼 때 사용되고 connector는 화살표로 object들을 연결하여 그들의 인과관계를 표현한다.

mouse로 object를 click 하면 그림 2와 같은 equation window가 나타나는데, 그 안에 산술, 논

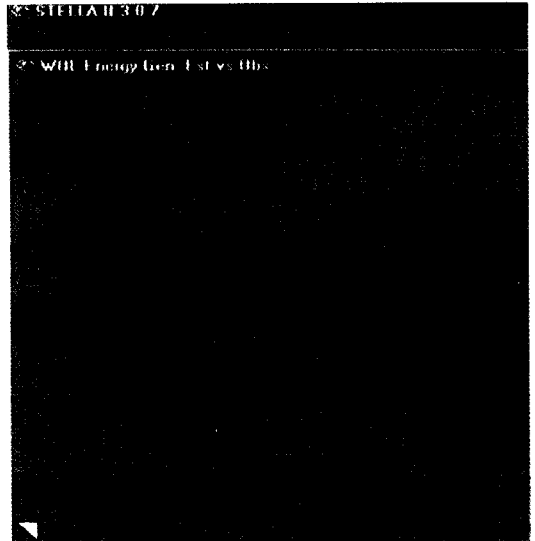


그림 5. Graph Output Window in STELLA

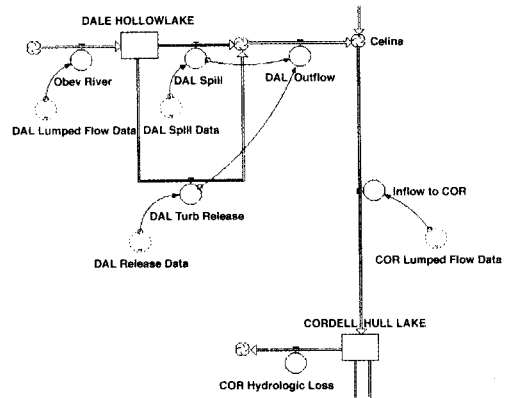


그림 6. STELLA Model for the Cumberland Reservoir System

리, 통계 함수 등을 이용하여 수식을 쓸 수 있고, 더욱이 graph를 이용한 data 저장도 가능하다 (그림 3). 이렇게 선택, 연결, 그리고 정의된 object들은 필요에 따라 copy, paste, delete 등의 기능을 이용하여 언제든지 수정될 수 있다. STELLA 모형을 수행하려면 time step 등의 몇 가지 parameter들을 정의한 후 (그림 4), run command를 이용하여 수행하는데, 모형의 수행 결과는 table 이나 graph로 나타낼 수 있다 (그림 5). 그림 6는 STELLA를 사용해 만든 저수지 관리 모형의 예로써, 미국 Kentucky 주의

Cumberland reservoir system의 일부를 보여주고 있다. 수자원 시스템에 적용된 STELLA 모형의 예는 internet site, <http://maximus.ce.washington.edu/~actacf/> 나 <http://www.ce.washington.edu/~williamet/> 를 참조하기 바란다.

3. 수자원 System 전용 OOS Software: RiverWare

RiverWare는 USBR (United State Bureau of Reclamation)과 TVA (Tennessee Valley Authority)가 지원하고 University of Colorado의 CADSWES (Center for Advanced Decision Support for Water and Environmental Systems)가 개발한 수자원 System 전용 OOS software이다. 1990년 RSS (River Simulation System)란 이름으로 선보인 RiverWare는, 1993년 PRSYM (Power and Reservoir SYstem Model)이란 이름으로 version 3.0 까지 개발되었기 때문에 1996년 현재의 이름으로 바뀐 후 지금까지도 PRSYM으로 더 많이 알려져 있다. 1998년 3월 현재 version 1.2 까지 개발된 RiverWare는 미국에서 가장 큰 수자원 system 중의 하나인 TVA system을 필두로 Colorado river basin과 San Juan river basin 등 그 적용 범위가 점점 커지고 있다. RiverWare의 가장 큰 장점은 STELLA나 EXTEND에서 쓰이는 일반적인 object 대신 그림 7에서 보는 바와 같이 수자원 system에 필요한 object를 연결하여 모형을 만들 수 있을 뿐 아니라 각 object에는 수리, 수문, 그리고 수자원 분야에 널리 쓰이는 각종 관계식들이 내장되어 있다는 점이다 (그림 8). 또한 data management interface 기능이 있어 외부 data나 program과의 연결이 가능하고 simulation 뿐 아니라 linear goal programming 기법을 이용한 최적 모형을 만들어 방류량 등을 결정할 수도 있다. 반면 RiverWare는 workstation인 SPRACstation에서만 사용할 수 있도록 개발되었기 때문에 계산 기능은 뛰어나지만 가격이 비싸고, 숙련되기까지 많은 시간이 걸린다는 단점이 있다. 그러나,

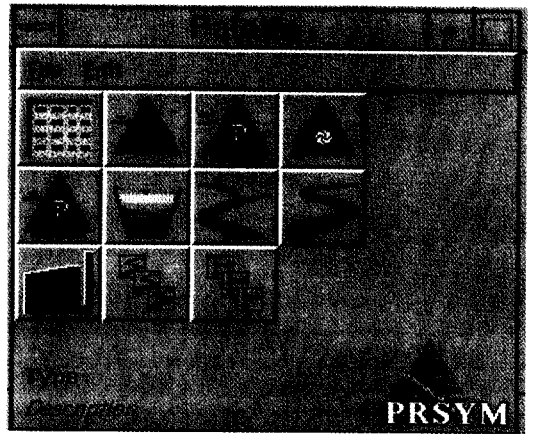


그림 7. Basic Objects in RiverWare (Formerly PRSYM)

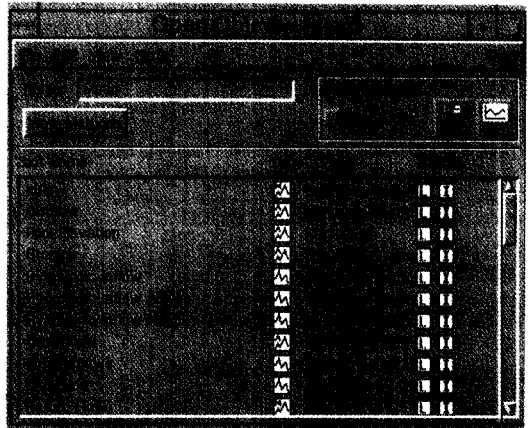


그림 8. Equation Window in RiverWare (Formerly PRSYM)



그림 9. RiverWare Model for Colorado River Basin

새로운 version의 개발이 활발히 진행되고 있으므로 빠른 시일 내에 가격이 하향되고 graphic 기능 등이 보완되기를 기대해 본다. 그림 9은 RiverWare를 이용하여 모형화한 Colorado River Basin의 일부이며, 수자원 시스템에 적용된 RiverWare 모형의 예는 internet site, [http:// www.usbr.gov/rsmg/warsmp/riverware/](http://www.usbr.gov/rsmg/warsmp/riverware/) 를 참조하기 바란다.

4. 맺음말

지금까지 우리는 간단하나마 수자원 관리에 적용될

수 있는 OOS software들을 살펴보았다. 지방자치제도의 시작과 더불어 우리 나라에서도 물 문제의 해결은 종래의 일방적이고 획일적인 방식에서 탈피하여 이해 당사자들의 충분한 협의를 통해 그 해결책이 도출되어야 할 것이다. 이러한 협의 과정의 한 방편으로 OOS 모형은 대체 안을 다각도로 신속히 제시함으로써, 보다 많은 의견을 수렴하고, 보다 많은 사람에게 신뢰를 줄 수 있으리라 기대한다. ●

〈참 고 문 헌〉

- [1] Kim, Y.-O. and R. N. Palmer (1993). "Object-oriented Simulation Models for Skagit Hydropower System", Final Report Submitted to Seattle City Light, University of Washington, Seattle, WA, USA.
- [2] Palmer, R. N., A. M. Keyes, and S. M. Fisher (1993). "Empowering Stakeholders through Simulation in Water Resources Planning", Proceedings of the 20th Annual Water Resources Planning and Management Conference, ASCE, Seattle, WA, 451-454.
- [3] U. S. Army Corp of Engineers (1991). "Object Oriented Simulation Modeling for Water Resources", Draft Engineer Technical Letter, Washington, D.C., USA.
- [4] Werick, W. J. (1993). "National Study of Water Management During Drought: Results Oriented Water Resources Planning", Proceedings of the 20th Annual Water Resources Planning and Management Conference, ASCE, Seattle, WA, 451-454.
- [5] Yeh, W. W.-G. (1985). "Reservoir Management and Operations Models: a State of the Art Review." Water Resources Research, 21(12), 1797-1818.