K-WEAP의 기능개선

Improvements of K-WEAP function

박희성*, 이동률**, 문장원***, 최시중****, 김휘린*****

Hee-Seong Park, Dong-Ryul Lee, Jangwon Moon, Si-Jung Choi, Hwi-Rin Kim

요 지

K-WEAP(Korea-Water Evaluation And Planning System)은 유역의 물이용 순환체계를 컴퓨터 프로그램으로 구현하고, 수량, 수질, 환경, 수요관리 등을 종합적으로 고려하여 통합수자원계획 수립을 지원하는 전문 모형으로서, 과학기술부와 건설교통부가 공동으로 지원하는 21세기 프론티어 사업인 수자원의 지속적 확보기술사업단의 연구비 지원에 의하여 SEI-B(Stockholm Environment Institute-Boston Center)와 한국건설기술연구원이 공동으로 개발한 모형이다. K-WEAP의 대부분 기능은 기존의 SEI-B가 개발한 WEAP(Water Evaluation And Planning System)에 기반을 두고 있지만, 월 단위 물수지 분석뿐만 아니라 5일 및 임의 시간 단위 물수지분석이 가능하고 물공급 안전도평가와 하천수질모의가 가능하다는 점에서 기존의 WEAP과는 다르며 메뉴와 도움말이 모두 한글로 작성되어있어 국내 사용자들이 이용하기 용이하다.

K-WEAP의 기능은 단계적으로 보완 및 개선이 이루어지고 있으며, 현재는 1단계 개발이 끝난 후 2단계 기능개선 작업을 수행하고 있다. 2단계에서 개선하게 될 주요부분은 물수지모형의 개선과 하천수질모형의 개선, 편익산정모형의 개발, 의사결정지원 기능을 고려하는 사용자인터페이스 개선 등이 포함되어 있으며, 2단계 1차 년도에서는 물수지모형과 하천수질모형의 부분적인 개선과 함께 의사결정지원 기능을 고려하는 사용자 인터페이스의 부분적인 개선을 시도하였다. 물수지모형의 개선에서는 하수처리장의 회귀수를 수요처에서 직접 이용할 수 있도록 하였으며, 하천수질모형의 개선부분에서는 기온과 풍속 등의 기후자료를 이용한 수온모의모형을 개발하였다. 또한, 사용자 인터페이스 부분에서는 사용자의 의사결정을 지원하기 위해 하천유량과 수질 등에 대한 초과비율그래프 조회 기능과 결과를 지도상에서 확인할 수 있는 지도보기기능, 사용자가 필요한 자료를 요약하여 조회할 수 있는 사용자 정의보고서 작성기능을 추가하였다. 개선된 기능을 통해 사용자는 보다 편리한 환경에서 모형을 구동하고 구동결과를 평가 할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : K-WEAP, 물수지 분석, 하천수질모의

1. 서 론

최근 직면하고 있는 수자원개발의 한계로 인하여 양질의 물을 충분히 공급하는 것이 점차 어려워지고 있다. 수자원의 양적, 질적 제한을 적절하게 극복하기 위해서는 수자원계획 단계에서부터 수량과 수질이 종합적으로 고려되어야 할 것이다. 수량과 수질을 종합적으로 고려하여 수자원계획을 수립할 수 있도록 지원하는 도구로서는 21세기 프론티어 연구개발 사업의 일환으로 개발된 K-WEAP(Korea Water Evaluation And Planning System)이 있다. K-WEAP은 한국건설기술연구원과 SEI-B(Stockholm Emvironment Institute - Boston Center)가 공동으로 개발하고 있는 통합수자원계획모형으로서, SEI-B에서 개발된 기존의

* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원·E-mail : hspark90@kict.re.kr
** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : dryi@kict.re.kr
*** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원·E-mail : jwmoon@kict.re.kr
**** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : sjchoi@kict.re.kr
***** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 부장·E-mail : hrkim@kict.re.kr

WEAP(Water Evaluation And Planning System)모형을 기반으로 국내 실정에 맞도록 수정 보완한 후, 단계적으로 그 기능을 개선해 나가고 있어 향후 수자원계획을 위한 종합적인 도구로서 활용이 기대된다. 이에 본 연구에서는 K-WEAP의 개발과정과 앞으로의 개선방향 등을 소개하고자 한다.

2. K-WEAP의 개발

21세기 프론티어 연구개발 사업의 일환으로 수자원계획의 효율화를 위하여 통합수자원계획을 위한 도구가 필요하였다. 이에 한국건설기술연구원은 여러 가지 수자원계획 도구를 시험하여 통합수자원계획이 가능하고 사용자가 편리하게 이용할 수 있는 기본 모형으로서 SEI-B에서 개발된 WEAP을 바탕으로 하여 K-WEAP을 개발하게 되었다. 2001년부터 2004년까지 수행된 K-WEAP의 1단계 개발에 의하여 기본적인 지표수-지하수-대체수자원에 대한 모의기능과 수량-수질 연계모의기능이 완성되었으며 사용자인터페이스를 한글화하였다. 1단계에서 개발된 내용을 간단하게 요약하면 표 1과 같다.

표 1 제1단계 개발 내용

구분	1단계 개발 내용
1단계 (2001~2004)	◦ 5일 단위 물수지 분석 기능 개발 ◦ 한글화 및 한글 매뉴얼 작성 ◦ 하천수질모의모형 개발 ◦ 물공급 안전도 평가 개념의 도입

3. K-WEAP 기능 개선

1단계에서 개발된 K-WEAP을 실무에서 활용하는 과정에서 여러 가지 보완해야 할 점들이 발견되었으며, 이러한 점들을 고려하여 2005년부터 2007년까지 계획되어 있는 2단계 개발에서는 그 세부적인 기능들을 개선하고자 하였다. 2단계에서의 세부적인 개선내용을 요약하면 표 2와 같다.

2단계 개발은 각 3년으로 계획되고 있으며, 통합수자원계획을 위한 수질모의 기능의 개선이나 편익산정 기능의 개발 등을 포함하고 있다. 현재, 2단계 1차 년도가 마무리된 상태이며, 본 고에서는 2단계 1차 년도에 수행되었던 기능개선 내용을 중심으로 소개하고자 한다.

표 2 제2단계 기능개선(계획)

구분	2단계 기능개선 내용
1차년도 (2004~2005)	◦ 수요처와 하수처리장 회귀수의 재이용기능 개선·평가 ◦ 하천 수온 모의 기능 개발·평가 ◦ 네트워크상 모형결과 예시기능 개발·평가 ◦ 사용자 정의보고서 작성기능 개발·평가 ◦ 신뢰성 평가 분석기능 개선·평가 ◦ 개선기능 한글화 및 매뉴얼 작성
2차년도 (2005~2006)	◦ 편익산정 기능 개발·평가 ◦ 수질모의결과 검정기능 개선·평가 ◦ 수요처 최소수질기준 설정기능 개발·평가 ◦ 처리장의 분할 오염부하량 산정기능 개선·평가 ◦ 개선기능 한글화 및 매뉴얼 작성
3차년도 (2006~2007)	◦ K-WEAP과 Qual2e(또는 Qual2k) 연계시스템 개발·평가 ◦ 시나리오간 결과 비교기능 개선·평가 ◦ 개선기능 한글화 및 매뉴얼 작성

3.1 수요처와 하수처리장 회귀수의 재이용기능 개선

1단계에서 개발된 K-WEAP에서는 단순히 수요처에서의 재이용율만 고려하는 방식이나 하수처리장에서 생산되는 재이용수 전체를 수요처에 다시 회귀시키는 방식으로 하수나 회귀수의 재이용을 모의할 수 있었다. 반면, 하수처리장에서 생산되는 재이용수를 수요처에서 필요한 양 만큼 보내주거나 수요선호도를 부여할 수 있는 방법은 없었다. 하지만, 실제 상황에서는 수요처의 필요에 따라서 하수처리장에서 생산되는 재이용수를 수요처의 필요에 의해 선택적으로 사용하는 상황이 발생하게 된다.

이에 수요처나 하수처리장의 회귀수를 현실적으로 재이용할 수 있도록 K-WEAP의 용수분배 알고리즘을 수정하고 알고리즘을 적절히 구현할 수 있도록 사용자 인터페이스를 개선하였다. 이러한 개선작업을 통하여 그림 1에서 보는 것과 같이 사용자는 단순하게 수요처에서 수요처로 또는 하수처리장에서 수요처로 취입수

로를 연결해 주는 것만으로 수요처나 하수처리장의 회귀수를 수요처에서 원하는 만큼 재이용하도록 모의할 수 있게 되었다.

이때 주의할 점은 배출수나 처리수를 공급받는 수요처는 이를 공급하는 수요처보다 우선순위가 반드시 낮아야한다는 것이다. 그렇지 않으면 용수는 재이용되지 않는다. 이것은 K-WEAP의 물배분 알고리즘에 의해 보다 높은 우선순위를 가지고 있는 수요처에 대한 용수 할당이 먼저 진행되기 때문이다. 따라서 공급받는 수요처에 용수 할당이 진행되는 동안 공급하는 수요처는 미처 용수를 할당 받지 못한다면 공급받는 수요처에서는 공급하는 수요처로부터 어떤 회귀수도 받지 못하게 될 것이다. 또한, 수요처나 하수처리장으로부터의 배출수를 다른 수요처가 직접적으로 재이용하더라도, 재이용되지 않고 남는 하수를 하천으로 전달할 수 있도록 최소한 하나 이상의 회귀수로가 있어야한다.

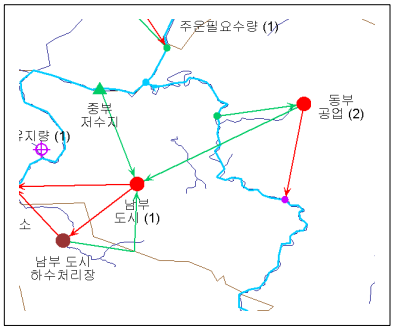

그림 1 회귀수의 재이용

3.2 하천 수온 모의 기능 개발

하천의 수온은 BOD 모의시 중요한 인자이다. 1단계에서 개발된 K-WEAP 하천수질모형은 하천의 수질 모의에 필요한 수온을 각 하도구간별로 직접 입력 할 수 있게 하고 있으나 수질 모의대상 하천구간들에 대하여 수온자료를 구축하거나 직접입력 하는 작업은 매우 복잡하고 힘든 작업이다. 이에 대해 K-WEAP 내에 지역의 평균 기온과 일조조건 등의 물리적인 매개변수를 통해 하천의 수온을 추정할 수 있는 수온모의모형을 개발하고 이를 K-WEAP에 탑재하였다.

3.2.1. 수온모의모형

하천의 각 유입지점에서의 수온은 상류, 지류, 회귀수, 그리고 지하수 등의 유입량에 대한 수온을 유입량에 대한 가중 평균을 통해 추정한다. 하천으로 유입된 물이 하류로 유하함에 따라, 검사 체적내의 수온은 그림 2와 같이 태양의 단파복사와 대기의 장파복사로부터 흡수된 열과 전도, 대류와 증발에 의해 손실된 열에 의해 변한다. 하천에서의 이러한 수온의 변화는 하도구간을 대상으로 하는 열수지 식으로 나타낼 수 있을 것이다.

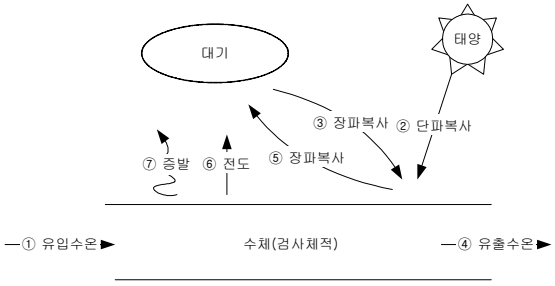

그림 2 수온모의 개념도

만약 각 하도구간의 체적은 하천의 흐름이 정상류라는 가정 한다면, 단면평균면적과 하도구간의 길이에 따라 정의되며, 하천의 각 하도구간에서의 시간에 따른 열수지 식은 다음과 같게 될 것이다(Chapra, 1997).

$$\frac{T_{i+1}-T_i}{\Delta t}=\frac{Q_i}{V}T_i+\frac{Rn}{\rho C_p H}+\left[\frac{\sigma(T_{air}+273)^4 a\sqrt{e_{air}}}{\rho C_p H}\right]-\frac{Q_i}{V}T_{i+1}-\frac{\varepsilon\ni\sigma(T_{i+1}+273)^4}{\rho C_p H}-\frac{f(u)(T_{i+1}-T_{air})}{\rho C_p H}-\frac{g(u)D}{\rho C_p H}$$

여기서, 오른쪽 첫 번째 항은 상류에서 유입되는 유입수의 열량으로서 하도구간의 체적, $V(m^3)$과 유입량, $Q_i(m^3/s)$ 그리고 상류유입수의 온도, T_i 의 관계로 표현된다. 두 번째 항은 밀도가 ρ, 비열이 C_p 이고 평균수심 $H(m)$인 하도구간의 검사체적에 대한 순복사흡수열량, R_n이다. 세 번째 항목은 검사체적 내로 들어오는 대기의 장파장 복사열로서 Stefan-Boltzmann 상수, σ와 기온 , T_{air}(℃), 산란 반사율, a와 대기 수증기압, e_{air} 로 구성된다. 네 번째 항목은 검사체적 외부로 나가는 유출수의 열량인 반면, 다섯 번째 항목은 물에 의한 장파장복사에 의해 검사체적 외부로 나가는 복사열량이다. 여섯 번째 항목과 일곱 번째 항목은

대기의 열전도에 대한 항목과 증발에 의한 하천의 열손실에 대한 항목이다. $f(u)$, $g(u)$는 풍속함수이고 D 수표면과 대기의 수증기압 차이이다. 기온, T_{i+1}은 하류노드에 대해 4차 Runge-Kutta 방법으로 풀 수 있으며, 이것은 (또 다른 유입수에 대한 혼합이 고려된 후) 다음 구간에 대한 경계조건이 된다.

K-WEAP에서는 이상과 같은 방법으로 하천의 수온변화를 모의한다. 이러한 수온모의기능을 활용하기 위해서는 K-WEAP의 모의방식과 관련된 환경을 수정하여야 하며, 각 하도구간에 대해 기온(일최고기온과 최저기온의 평균), 습도(상대습도), 풍속(평균풍속), 위도와 같은 기후 자료를 입력하여야 한다.

수온모의 기능을 이용함에 있어서 주의해야 할 사항은 개발된 수온모의 모형이 경위도에 따른 지리적인 요소를 반영하고는 있으나 지표의 굴곡 등에 의한 지형적인 요소와 운량 등에 의한 복사의 차단과 같은 기상적인 요소는 반영하고 있지 못하다는 점이다. 이러한 점들을 모두 반영하려면 더욱 복잡한 모형이 필요하게 될 것이나 장기적인 수자원계획이라는 점을 고려한다면 미흡하나마 사용자가 활용하는데 있어서는 큰 문제점은 없을 것으로 사료된다.

3.3 네트워크상 모형결과 예시기능 개발

K-WEAP의 모의결과는 공간적, 시간적 변화를 갖고 있다. 그런데 일반적인 그래프는 시간적인 변화를 나타내기에 충분하지만 공간적인 변화를 나타내기에는 불충분하다. 사용자가 수자원계획을 평가하는데 있어서는 공간적인 변화를 육안으로 직접 확인하는 것이 매우 유용할 수도 있다. 따라서, 그림 3과 같이 K-WEAP의 모의 결과를 지도상에 공간적으로 도시하여 볼 수 있게 함으로써 사용자가 모의결과의 공간적인 변화를 한눈에 알아 볼 수 있도록 하였다.

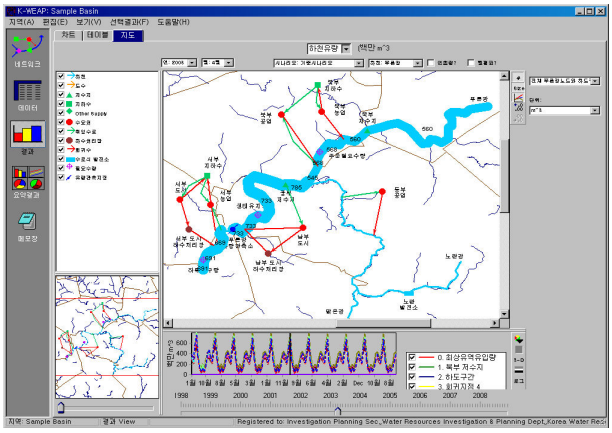

그림 3 K-WEAP 모의결과의 공간적 변화

그림 3은 물수지결과에 의하여 나타난 하천의 유량을 보여주는 것이며 유량의 크기에 따라서 하천의 두께가 다르게 나타난다. 또한 아래쪽에는 시간적인 하천의 유량 변화가 그래프로 나타나며 그래프 위에서 원하는 시간대를 선택하면 이에 해당하는 결과를 도상으로 조회할 수 있으므로 사용자의 의사결정에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

3.4 사용자 정의보고서 작성기능 개발

K-WEAP의 결과자료는 그 양이 방대하여 사용자가 모든 부분을 동시에 확인하여 본다는 것은 거의 불가능하다. 실제로 K-WEAP에서 제시되는 결과들 중 사용자의 주요관심사는 일부로 제한될 것이며 주요한 결과만 요약해서 보는 것이 필요할 것이다. 기존의 K-WEAP에서 요약결과를 통해 이를 그래프로 확인할 수 있었으나 실제적인 값을 조회할 수 는 없었다. 사용자의사결정을 충분히 지원하기 위해서는 이러한 주요관심사항에 대한 수치적인 자료가 필요할 것이므로 이러한 기능을 개선하여 그림 4와 같이 요약결과상에서 나타나는 그래프에 대한 결과 자료들을 수치적으로 보여 줄 수 있도록

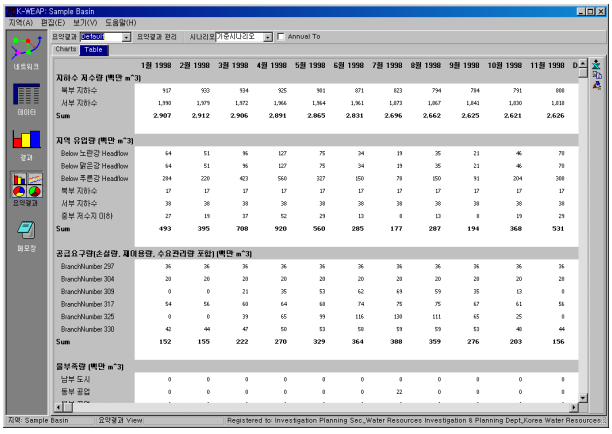

그림 4 사용자 정의보고서

결과보기를 재구성함으로써 사용자의 K-WEAP 활용성을 높였다.

3.5 신뢰성 평가 분석기능 개선

물공급의 안전도나 신뢰성을 평가하기 위해서는 년간 발생하는 물부족의 일수나 특정유량의 발생비율 또는 확률 등이 중요하다. 이에 그림 5와 같이 각 유량 자료별로 초과비율그래프를 생성하여 볼 수 있도록 함으로써 사용자가 해당기간에 대한 특정 유량의 발생 비율을 조회하여 볼 수 있도록 하였다. 초과비율은 특별한 경우에 초과확률로 인식될 수도 있으며 하도구간의 하천유량 모의 결과에 대한 초과비율그래프는 해당구간에 대한 유황곡선이므로 사용자는 손쉽게 모의하천구간에 대한 유황을 판단할 수 있다.

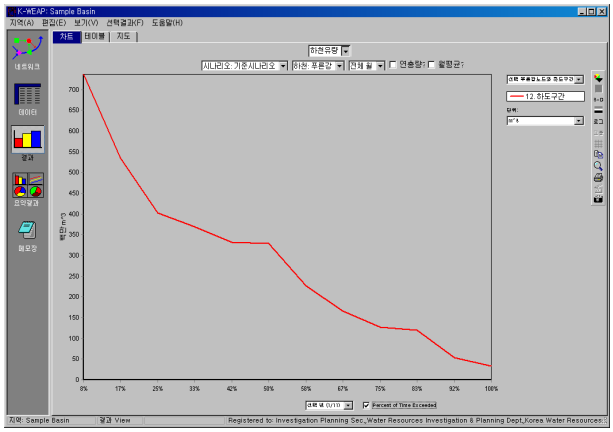

그림 5 초과비율 그래프

4. 결론

21세기 프론티어 연구개발 사업의 일환으로 개발된 K-WEAP의 활용성을 높이기 위하여 단계적으로 기능에 대한 보완 및 개선이 이루어지고 있으며, 현재는 1단계 개발이 끝난 후 2단계 기능개선 작업을 수행하고 있다. 2단계에서 개선하게 될 주요부분은 물수지모형의 개선과 하천수질모형의 개선, 편익산정모형의 개발, 의사결정지원 기능을 고려하는 사용자인터페이스 개선 등이 포함되어 있으며, 2단계 1차 년도에서는 물수지모형과 하천수질모형의 부분적인 개선과 함께 의사결정지원 기능을 고려하는 사용자 인터페이스의 부분적인 개선이 이루어졌다. 물수지모형의 개선에서는 수요처와 하수처리장의 회귀수를 타 수요처에서 직접 이용할 수 있도록 하였으며, 하천수질모형의 개선부분에서는 기온과 풍속 등의 기후자료를 이용한 수온모의모형을 개발하였다. 또한, 사용자 인터페이스 부분에서는 사용자의 의사결정을 지원하기 위해 하천유량과 수질 등에 대한 초과비율그래프 조회 기능과 결과를 지도상에서 확인할 수 있는 지도보기기능, 사용자가 필요한 자료를 요약하여 조회할 수 있는 사용자 정의보고서 작성기능을 추가하였다. 개선된 기능을 통해 사용자는 보다 편리한 환경에서 모형을 구동하고 구동결과를 평가 할 수 있을 것으로 기대된다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호:1-5-2)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 박희성, 이동률. (2003) K-WEAP을 이용한 통합수자원계획 시나리오 분석, 2003년 한국수자원학회 학술발표회 논문집(I), pp.1966-1971.
2. 박희성, 이동률, 문장원, 강신욱. (2003) 금강유역에 대한 K-WEAP의 적용 및 평가, 2003년 대한 토목학회 정기학술대회 논문CD, pp.254-257.
3. 이동률, 박희성, 김이태, 정규연. (2004) 통합 수량-수질 분석을 위한 K-WEAP 모형, 2004년 한국수자원학회 학술발표회 발표논문 초록집, pp.102-102.
4. Chapra, S.C. (1997) Surface Water-Quality Modeling, McGraw Hill Companies, Inc. Boston, MA, USA.
5. SEI-B(Stockholm Environment Institute - Boston Center). (2004) K-WEAP User Guide.