

# 국가 수자원 계획의 수립을 위한 K-WEAP의 적용

## Application of K-WEAP in National Water Resources Plan

최시중\*, 서재승\*\*, 강성규\*\*\*, 문장원\*\*\*\*, 이동률\*\*\*\*\*

Si-Jung Choi, SeJangwon Moon, Chul-Sang Yoo, Joong-Hoon Kim, Dong-Ryul Lee

### 요 지

지금까지의 수자원계획평가는 유역별 권역별로 이루어져 왔다. 다시 말해 지역적인 수자원계획평가는 제대로 이루어지지 않았다고 할 수 있다. 한 지역의 수자원계획평가를 하기 위해서는 그 지역의 물이용 순환 시스템을 분석해야 하며, 이를 통해 유역의 기본 자료를 제공할 수 있을 뿐만 아니라 순환구조 및 현황 문제점 파악, 시스템 개선 등을 수행할 수 있다. 하지만 국내에서는 아직까지 종합적으로 물순환 및 물이용에 대해 제시된 연구결과는 거의 없으며, 각 순환요소에 대한 개별적인 연구가 수행된 경우가 있다. 도시용수의 순환시스템의 경우 전체적인 순환시스템에 대한 연구보다는 주거형태에 따른 회귀율의 산정과 같은 특정 분야에 대한 연구결과가 제시된 경우가 있으며, 농업용수에 대해서도 회귀율의 추정과 같은 연구가 제시되어 있는 정도로 관련 연구의 수행이 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 서산 지역의 물이용 순환시스템을 조사하여 분석함으로써 기 수립된 서산 지역의 장래 계획들의 타당성을 검증하고, 이에 대한 대책 및 문제점을 제시하고자 하며 장래에 일어날 수 있는 수량 및 수질 변화에 대한 상황들을 시나리오로 개발하여 분석함으로써 장래에 대한 수량, 수질을 연계한 수자원계획을 수립하고자 한다. 또한, 서산 지역의 대표적인 수원인 보령댐의 댐운영 및 가뭄 모니터링에 이용할 수 있도록 보령댐에 대한 가뭄지수(물공급능력지수, 표준물공급능력지수)를 분석하여 제시하고자 한다.

**핵심용어 : K-WEAP, 지역수자원계획, K-WEAP, 통합물수지, 가뭄지수**

### 1. 서론

우리나라에서는 지금까지 유역별, 혹은 권역별로 수자원계획평가가 이루어져 왔으며 이는 수량만을 고려한 수자원계획평가라고 할 수 있다. 최근 들어 수량 뿐만 아니라 수질에 대한 관심이 증가함으로써 수량-수질이 연계된 수자원계획평가가 이루어져야 한다는 사실에 모든 연구자들이 공감하고 있는 사실이다. 또한, 권역별 수자원계획 뿐만 아니라 지역적인 수자원계획평가도 매우 중요한 사항이다. 하지만 지역수자원계획은 필요에 의해 임시적으로 이루어져 왔으며 주로 개발 위주로 진행되었다고 할 수 있다.

지역적 물이용 순환시스템 분석 및 수자원계획평가 연구는 통합물수지 분석을 위한 모형 적용 시 기본 자료를 제공하기 위한 연구라고 할 수 있으며, 먼저 대상유역의 물순환 시스템에 대한 기초 자료의 생성이 목적이라고 할 수 있다. 이러한 절차를 거쳐 제시된 현 상황 조사를 통해 현 시스템의 문제점을 파악할 수 있으며, 이를 개선하기 위한 방향제시가 가능하다. 지역적 수자원 계획수립 과정에서 일반대중과 이해관계자들의 참여를 보장함으로써 보다 신뢰성 있는 계획을 수립하기 위해서는 이를 뒷받침해줄 수 있는 도구가 필요하다. 이러한 상황을 고려하여 과학기술부와 건설교통부가 공동으로 지원하는 21세기 프론티어사업인 수자

\* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : sjchoi@kict.re.kr

\*\* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : jsseo@kict.re.kr

\*\*\* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : skkang@kict.re.kr

\*\*\*\* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : jwmoon@kict.re.kr

\*\*\*\*\* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원·E-mail : dryi@kict.re.kr

원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원에 의해 SEI-B(Stockholm Environment Institute-Boston Center)와 공동연구로 개발된 K-WEAP(Korea-Water Evaluation And Planning System)을 이용하여 지역수 자원계획을 수행하였다.

또한, 효율적인 가뭄관련 대책을 마련하기 위해서는 현재의 상황에 대해 지속적인 모니터링이 이루어져야 하며, 이를 정확하게 해석할 수 있는 지표의 적용이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 새롭게 개발된 물공급 능력지수(WSCI)와 표준물공급능력지수(SWSCSI)를 서산지역의 대표적인 용수공급원인 보령댐에 적용하였다.

## 2. K-WEAP 모형

K-WEAP 모형은 유역의 물이용 순환체계를 컴퓨터 프로그램으로 구현하고, 수량, 수질, 환경, 수요관리 등을 종합적으로 고려하여 통합수자원계획 수립을 지원하는 전문 모형으로서, 대부분 기능은 SEI-B가 개발한 WEAP에 기반을 두고 있지만 여러 부분에서 기존의 WEAP과는 다르게 국내 실정에 맞도록 수정, 보완한 후, 단계적으로 그 기능을 개선해 나가고 있어 사용이 편하며 수자원계획과 관련된 다양한 분야에 적용이 가능하도록 개선하고 있어 향후 수자원계획을 위한 종합적인 도구로서 활용이 기대된다.

K-WEAP 모형의 특징으로는 직관적인 GIS 기반 그래픽 인터페이스로 계획자가 컴퓨터 화면 지도상에서 손쉽게 용수수급 네트워크를 구축하고 수정할 수 있으며, 그래프를 포함한 강력한 문서작성 기능을 이용하여 수자원평가 결과를 한눈에 알아볼 수 있다. 또한 K-WEAP 모형의 모든 구성항목에 대해 이용자의 이해를 돕기 위한 한글도움말을 제공하고 있다. 사회, 경제변수, 수요추정, 자료입력 등을 위한 사용자 정의가 가능한 수식편집기능을 가지고 있으며, 용도별 수요량에 대해 상위용도부터 최종용도까지 다단계 수요 데이터베이스를 제공한다. 입출력자료는 스프레드시트와 다른 모형과의 동적연계가 가능하며 자료를 엑셀로 저장하여 지속적으로 활용할 수 있다. 지표수-지하수-대체수자원의 연계운동을 지원할 수 있으며, 공급우선순위 시스템과 내장된 선형계획 모듈을 통한 합리적인 용수 배분을 모의할 수 있다. 다양한 시나리오의 구축과 평가가 가능한 것도 K-WEAP 모형의 장점이라 할 수 있다.

K-WEAP 모형은 꾸준한 개선을 통해 최근에는 용수재이용 반영기능, 수온 모의, 보고서 작성 기능 향상, 신뢰성 평가 분석기능 개선 및 경제성 분석, 수요처 최소수질 기준 설정기능, 수질모의결과 검정기능도 포함시켰다. 또한 앞으로 수질모형과의 연계시스템을 개발하고, 시나리오 간의 결과 비교가 가능토록 개선할 계획이다. 이렇게 개선된 기능을 통해 사용자는 보다 편리한 환경에서 모형을 구동하고 구동결과를 평가할 수 있을 것이다. K-WEAP 모형의 가장 큰 특징은 수자원계획과 평가의 모든 과정을 종합적으로 수행할 수 있는 구조를 갖고 있다는 점이다.

## 3. 지역수자원계획을 위한 네트워크 구성

### 3.1 지역 선정

서산시는 서해안 중부권 중추도시로서 도시 구역내 미개발지가 급속히 개발되어 도시화가 이루어지고 있고 도시화에 따른 인구증가, 공장입지의 증가 등 기업도시로서의 조성 예정 중에 있으며, 그만큼 발전 가능성이 큰 지역이라고 할 수 있다. 또한, 부남, 간월호 등 철새도래지로서 자연생태계에 미치는 영향이 크다고 할 수 있다. 그러나 간월호와 부남호 수질이 악화되고 있어 수질개선을 위한 관련 사업들이 진행되고 있으며, 이로 인한 서산지역 수자원에 대한 영향 분석 및 장래 수자원계획이 필요하다고 판단되었다.

### 3.2 지역수자원계획 기초자료 구축

서산지역의 수자원계획을 위해 2003년 자료를 기준으로 2006, 2011, 2016년에 대한 계획을 수립하였다. 수요량 자료를 살펴보면 서산지역의 수요처는 세부적으로 분석하기 위해 면단위의 하부 행정조직인 리별로 구

성하였으며 생활용수의 경우 각각의 목표연도별 리별 생활용수원단위를 인구수에 곱하여 수요량을 추정하였다(서산시수도정비기본계획보고서(1999), 서산시통합하수도정비기본계획변경 보고서(2003)). 공업용수의 경우 서산지역에는 큰 산업 단지가 있어 이를 네트워크에 따로 반영하여 목표 연도별 수요량을 반영하였으며, 산업단지 이외는 환경부에서 제시하고 있는 e-DACS 2005를 이용하여 각 읍면별 공업용수 수요량을 추정하였다. 농업용수는 현재 수행중인 수자원장기종합계획 보완용역에서 이용한 각 읍면별 목표연도별 농업용수수요량 자료를 이용하였다.

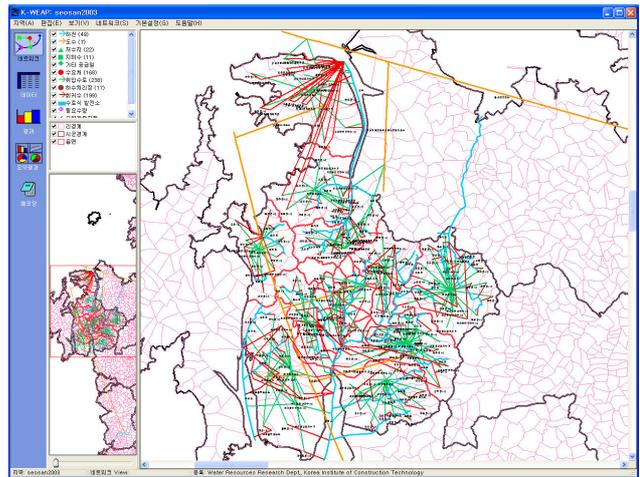


그림 1. 서산시 네트워크 구축

공급원과 공급시설의 경우, 강우-유출모형인 탱크 모형을 이용하여 하천유출량 자료를 산정하였으며, 지하수조사연보(2004)를 이용하여 지하수 이용량을 산정하였다. 서산시의 경우 보령담광역상수도를 통해 5개의 배수지와 3개의 정수장을 이용하여 용수를 공급하고 있으며, 아산공업용수도를 통해 공업용수도를 공급받고 있다. 또한, 많은 수의 농업용저수지는 각 읍면별 대표저수지로 표현하여 물수지분석을 수행하였으며, 각각의 용수별 회귀율을 산정하여 회귀수량을 산정하였다.

수질관련 자료로써 생활하수 관련 자료는 각 수요처의 인구에 오염원단위를 곱하여 목표연도별 오염부하량을 계산하였다. 또한 각 목표연도별로 계획된 하수처리장과 마을하수도를 고려하였다. 하수처리장 또는 마을하수도가 건설 혹은 계획되어 있지 않은 수요처는 가까운 하천으로 하수를 직접 방류하는 것으로 고려하여 수질모의를 수행하였다. 비점원 오염원 관련 자료는 김영철 등(2003)이 제시한 경험적인 서산시 EMC 값 산출공식을 이용하여 일별 비점원 오염원 배출 현황을 산정하였다. 이렇게 구축된 서산시의 물순환 네트워크는 그림 1과 같다.

### 3.3 기준시나리오 분석

물수지 분석은 서산지역의 최대갈수기인 1988년을 위주로 물부족을 계산하였다. 물수지 분석 결과 생활용수의 경우는 큰 부족이 발생하지 않지만 농업용수 및 공업용수는 많은 물 부족이 예상되었다. 이는 간월호, 대호, 부남호의 물을 사용하지 않은 경우에 대한 해석 결과이다. 담수호의 경우 농업용수 및 공업용수로 활용될 경우 국가 경제에 큰 기여를 할 수 있겠으나, 수질악화로 농업용수 공급하한선인 4급수 수질, 공업용수 공급 하위 수질인 5급수보다도 떨어지는 급수의 수질을 탈피하지 못하고 있어 활용도가 저조한 상태이다. 또한 철새도래지로서 자연생태계에 미치는 영향이 크게 부각되고는 있으나 높은 오염도로 인한 피해의 역작용으로 수질개선의 필요성이 시급한 상황에 처해 있다. 따라서 수질개선 사업 등을 통해 대호, 부남호, 간월호의 물을 이용할 수 있다면 농업용수 및 공업용수에서 많은 물부족이 해소될 수 있다고 판단된다.

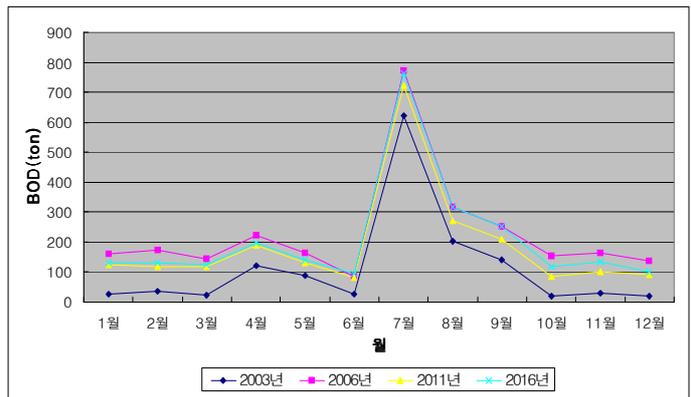


그림 2. 목표연도별 간월호 월별 오염물 유입량

K-WEAP 모형은 수량 뿐만 아니라 수질을 동시에 모의할 수 있는 장점을 가진 모형이기 때문에 수량-

수질을 동시에 모의하였다. 서산시의 여러 담수호 중 간월호로 유입되는 오염부하량을 계산하였으며, 목표연도별 간월호 유입 오염부하량은 그림 2와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 강우가 많은 7~9월에 집중적으로 유입되는 것을 알 수 있으며 이는 간월호 주위가 대부분 농경지로서 강우로 인한 비점원 오염원이 대량으로 유입되는 것에 의한 것으로 판단된다. 간월호는 수질 등급이 낮아 주변 생태계는 물론 국민 건강에 악영향을 미칠 것이 우려되며, 시급히 수질개선을 보완하여 추진해야 할 필요성이 있다. 현재의 상태로 간월호를 유지할 경우 간월호의 수질개선은 현상유지 수준에서 크게 벗어나기는 어려울 것으로 예상되며, 공단의 조성 등과 같은 유역내 오염원이 증가될 경우 담수호 내 오염부하량 증가를 초래하기 때문에 이에 대한 대책이 필요하다.

## 4. 장래 시나리오

### 4.1 장래 시나리오 개발

서산시의 장래에 발생할 수 있는 시나리오를 개발하여 이에 대한 분석을 수행하였다. 시나리오는 모두 6개를 개발하였으며, 수돗물 10% 절약을 예상한 수오관리 시나리오, 아산공업용수도의 수질악화로 인해 이용을 할 수 없는 경우를 고려한 아산공업용수도 시나리오, 서산시 인구가 2016년에 400,000명이 된다는 인구변화 시나리오, 2011년에 새롭게 증설계획인 지장, 예천배수지를 건설하지 않을 경우를 고려한 배수지 미건설 시나리오, 2016년에 현재 농지면적의 80%로 줄어든 것을 예상한 토지이용변화 시나리오, 각 읍면별로 축산폐수처리장을 설치하였을 경우를 고려한 축산폐수처리장 건설 시나리오를 개발하여 분석을 수행하였다.

### 4.2 장래 시나리오 분석

수요관리 시나리오의 경우 물부족량이 47천톤 가량 해소가능하며, 간월호 오염유입량도 연간 34톤 감소하는 것으로 분석되었다. 아산공업용수도 시나리오의 경우는 공업용수 부족량이 많이 증가하고, 담수호를 이용하더라도 공업용수와 농업용수가 부족한 실정이며, 인구변화 시나리오의 경우 약 5,000천톤의 생활용수 부족이 추가로 발생되었다. 간월호로 오염유입량도 2배 이상 증가하므로 이 경우 기존의 상수도 공급 계획을 재수립해야 된다는 결론을 얻었다. 배수지 미건설 시나리오의 경우 생활용수 부족량이 다소 증가하지만 수요관리 등을 통해 해소 가능하기 때문에 추가수원 확보 문제 등으로 인해배수지 건설은 다시 한번 검토해 볼 필요가 있다고 판단된다. 토지변화 시나리오는 간월호로 연간 91톤 정도의 오염 부하량이 적게 유입될 것으로 예상되며, 축산폐수처리장 건설 시나리오의 경우는 연간 8톤 정도의 오염 유입부하량이 감소하는 것으로 나타나 큰 효과를 예상하기 힘들 것으로 기대된다.

## 5. 가뭄관련 대책 수립

미래에 예상되는 물부족의 위험도를 경감하기 위한 대책으로 기상학적 인자만을 고려한다면 실제 물 이용자가 느끼는 물부족을 반영하기는 어렵다. 따라서 공급과 수요를 동시에 고려한 가뭄지수의 개발이 필요하다. 이에 이동률 등(2006)이 개발한 물공급능력지수(WSCI)와 표준물공급능력지수(SWSCl)를 적용하여 보았다. 서산지역의 대표적 용수공급원인 보령다목적댐에 이를 적용하였으며 이는 가뭄대책 수립 시

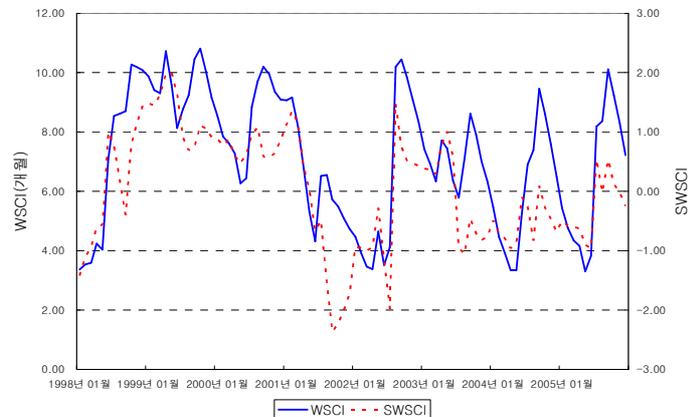


그림 3. 보령다목적댐의 WSCI와 SWSCI 산정결과

이에 대한 검토가 반드시 필요하다. 그림 3은 보령다목적댐의 WSCI와 SWSCI를 산정한 결과를 보여주고 있다. 2001년 9월은 다른 해에 비해 댐 저수량이 낮은 수준에 위치하므로 운영자 입장에서는 향후 기상상황 등에 보다 많은 관심과 주의를 기울일 필요가 있음을 알 수 있다. 물공급능력지수와 표준물공급능력지수는 독립적인 의미로 이용되기보다는 두 가지 지표가 서로 상호보완적으로 기능하게 되므로 두 가지 지표를 함께 고려하여 댐 운영 및 가뭄 모니터링에 이용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

## 5. 결론

지금까지 K-WEAP 모형을 이용하여 서산지역의 수자원계획을 평가하여 보았다. 이를 통해 기 수립된 계획에 대한 검토를 수행하였으며 장래에 발생할 수 있는 여러 상황을 시나리오로 개발하여 이에 대한 대책을 수립하였다. 한 지역의 수자원계획평가를 위해서는 수량 뿐만 아니라 수질에 대한 고려가 함께 이루어져야 한다. 이를 통해 일반대중에게 물수급에 대한 이해력을 높일 수 있고, 누구나 쉽게 구축된 네트워크를 이용하여 수정, 보완을 수행할 수 있는 장점을 제공할 수 있으리라 판단된다.

또한, 가뭄관련 대책도 함께 고려하였다. 가뭄관련 대책은 한정된 수자원에서 공급의 안정성을 최대한 향상시키기 위한 사회·공학적인 노력으로써 현재의 상황에 대한 지속적인 모니터링이 필요하며, 이를 정확하게 해석할 수 있는 지표의 적용이 필요하다고 할 수 있다. 본 연구에서 이용한 두 가지 지표는 공급과 수요를 동시에 고려한 지표로써 두 가지 지표가 서로 상호보완적으로 기능하게 되므로 두 가지 지표를 함께 고려하는 것이 효과적이며 이를 통해 지역수자원계획을 수립할 경우 갈수에 대한 대책을 수립할 수 있으리라 판단된다.

## 감 사 의 글

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

## 참 고 문 헌

1. 건설교통부, 한국수자원공사(2004). 지하수조사연보(2004).
2. 과학기술부(2004). 21세기 프론티어 연구개발사업 - 수자원의 지속적 확보기술개발사업 -, K-WEAP 통합 수자원평가계획모형 사용자 안내서.
3. 김영철, 김건하, 이동률(2003). 농촌 소유역에서의 EMC를 이용한 오염물질 부하량 산정기법의 개발, 한국수자원학회 논문집, 제36권 제4호, pp. 667-679.
4. 서산시(1999). 서산시 수도정비 기본계획 보고서.
5. 서산시(2003). 서산시 통합하수도정비기본계획변경보고서.
6. 이동률, 문장원, 이대회, 안재현(2006). 저수지 가뭄감시를 위한 물공급능력지수의 개발, 한국수자원학회 논문집, 제39권 제3호, pp. 199-214.
7. <http://water.nier.go.kr/weis/>